

CONCEÇÃO E ESTUDO DE UM SISTEMA SIMPLES DE CLIMATIZAÇÃO DE HABITAÇÃO

DIANA FERREIRA MORAIS

outubro de 2016

CONCEÇÃO E ESTUDO DE UM SISTEMA SIMPLES DE CLIMATIZAÇÃO DE HABITAÇÃO

DIANA FERREIRA MORAIS

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Teresa Neto

Supervisor: Alexandra Correia Barbosa

CONCEÇÃO E ESTUDO DE UM SISTEMA SIMPLES DE CLIMATIZAÇÃO DE HABITAÇÃO

DIANA FERREIRA MORAIS

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Teresa Neto

Supervisor: Alexandra Correia Barbosa

OUTUBRO DE 2016

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Agradecimentos	vii
Índice de Texto	ix
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
1 Introdução.....	1
2 Estágio em ambiente empresarial	4
3 Enquadramento legal do desempenho térmico de edifícios de habitação	6
4 Estudo de caso – Climatização de um edifício de Habitação Unifamiliar	48
5 Considerações Finais	123
Referências Bibliográficas	125
Anexo I – Folha de cálculo elaborada para o dimensionamento climático	127

RESUMO

No âmbito da obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, do ramo de Construções, o presente relatório aborda um estudo de soluções climáticas simples de um edifício de habitação unifamiliar.

O dimensionamento climático de um edifício é geralmente da responsabilidade da Engenharia Mecânica, no entanto é do interesse do Engenheiro Civil que para sistemas simples não seja necessária uma intervenção externa para abordar esta área.

Este trabalho tem como tema a *conceção e estudo de um sistema simples de climatização de habitação*. O estudo consiste no dimensionamento de um sistema de aquecimento central e de águas quentes sanitárias, que têm por base o mesmo equipamento definido pelo dono de obra.

Para tornar este dimensionamento simples, realizou-se um manual com procedimentos de cálculo e uma folha Excel para o dimensionamento automático dos equipamentos e acessórios.

Palavras-chave: aquecimento central, térmica, REH, habitação unifamiliar

ABSTRACT

Within the obtainment of the degree of Master in Civil Engineering, in Constructions area, this report discusses a study of simple climate solutions from a single family house.

The climatic design of a building usually is the responsibility of Mechanical Engineering, however is an interest of civil engineer not to be required an external intervention for simple systems to approach this area.

This work has as its theme the design and study of a single housing air conditioning system. The study consists in a central heating system and hot water dimensioning, which are based on the same equipment as defined by the project owner.

To make this simple, it was made a manual with calculation procedures and an Excel sheet for automatic scaling of equipment and accessories.

Keywords: central heating, thermal, REH, single family house

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer à minha Mãe, por me ter dado a oportunidade de efetuar este curso e ter chegado até aqui, pela ajuda e paciência nos meus momentos académicos mais baixos, por estar ao meu lado e festejar comigo nos momentos mais altos e por toda a força que me dá em tudo o resto.

À minha orientadora, Engenheira Teresa Neto, por ter aceite o desafio de me orientar neste trabalho final do meu período académico. Tanto pela paciência e disponibilidade, como pelos conhecimentos que me transmitiu não só neste trabalho mas ao longo de todo o curso.

À Empresa Alfaengenharia, gostaria de agradecer a oportunidade que me foi dada para a concretização de um estágio em ambiente empresarial, bem como a todos os seus colaboradores que estiveram disponíveis a ajudar-me e ao seu acolhimento na Empresa.

Um muito obrigada ao Engenheiro Vítor Naldinho, colaborador na empresa Auditene, pela paciência, acompanhamento, esclarecimento de dúvidas e conhecimento transmitido. E à Engenheira Isabel Sarmento, docente do ISEP, pelas informações facultadas.

Um grande agradecimento a todos os meus colegas de curso e amigos, e um especial obrigada à Diana Veloso e à Maria Malafaya pela ajuda e conselhos, à Mafalda Morgado pela paciência com meus desabafos e às três por estarem sempre comigo em todos os momentos da minha vida.

Finalmente, obrigada ao meu colega de estágio Nuno Silva, que partilhou comigo toda esta experiência e ao Marco Costa pela paciência e conhecimento transmitido.

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos.....	1
1.2	Estrutura do relatório de estágio.....	1
2	Estágio em ambiente empresarial	4
2.1	Empresa	4
2.2	Atividades desenvolvidas.....	4
2.2.1	Avaliação de terrenos.....	5
2.2.2	Projeto de térmica.....	5
2.2.3	Projeto de climatização	5
3	Enquadramento legal do desempenho térmico de edifícios de habitação	6
3.1	Alterações legislativas.....	6
3.2	Requisitos de comportamento técnico do edifício.....	7
3.3	Metodologias de cálculo.....	17
3.4	Parâmetros térmicos	30
4	Estudo de caso – Climatização de um edifício de Habitação Unifamiliar	48
4.1	Desempenho térmico	48
4.1.1	Descrição da fração	48
4.1.2	Dados climáticos.....	49
4.1.3	Definição da envolvente.....	50
4.1.4	Verificação de requisitos e aplicação de soluções construtivas.....	51
4.1.5	Inércia Térmica	61
4.1.6	Ventilação.....	62

4.1.7	Equipamentos.....	67
4.1.8	Necessidades nominais de energia - Solução projetada	68
4.1.9	Necessidades nominais de energia - Solução com U's regulamentares.....	86
4.1.10	Análise dos resultados	95
4.2	Dimensionamento de sistema de climatização	97
4.2.1	Metodologias de cálculo.....	98
4.2.2	Dimensionamento – solução projetada.....	104
4.2.3	Dimensionamento – solução com os U's regulamentares	115
4.2.4	Análise dos resultados	120
4.2.5	Comparação com outras soluções.....	120
5	Considerações Finais	123
5.1	Conclusões	123
5.2	Desenvolvimento Futuros.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 - <i>alfaengenharia</i>	4
Fig. 3.1 - Tabela I.01 da Portaria 379-A/2015.....	9
Fig. 3.2 – Tabela I.02 da Portaria 379-A/2015.....	10
Fig. 3.3 – Tabela I.03 da Portaria 379-A/2015.....	13
Fig. 3.4 – Tabela I.05 da Portaria 379-A/2015.....	14
Fig. 3.5 – Tabela I.06 da Portaria 379-A/2015.....	15
Fig. 3.6 – Tabelas I.07 a I.09 da Portaria 379-A/2015.....	16
Fig. 3.7 – Tabela 01 do Despacho 15793-I/2013	21
Fig. 3.8 – Tabela 20 do Despacho 15793-K/2013.....	22
Fig. 3.9 – Tabela 21 do Despacho 15793-K/2013	23
Fig. 3.10 – Tabela 07 do Despacho 15793-K/2013.....	32
Fig. 3.11 – Tabela 22 do Despacho 15793-K/2013.....	33
Fig. 3.12 – Tabelas 03 a 06 do Despacho 15793-K/2013.....	35
Fig. 3.13 – Tabela 08 do Despacho 15793-K/2013.....	37
Fig. 3.14 - Tabela 10 do Despacho 15793-K/2013.....	37
Fig. 3.15 – Tabela 11 do Despacho 15793-K/2013.....	39
Fig. 3.16 – Figura 01 do Despacho 15793-K/2013.....	40
Fig. 3.17 – Tabela 14 do Despacho 15793-K/2013.....	43
Fig. 3.18 – Tabela 15 do Despacho 15793-K/2013.....	45
Fig. 3.19 – Tabelas 16 à 19 do Despacho 15793-K/2013.....	46
Fig. 4.1 - Lateral esquerda - SE	48
Fig. 4.2 - Frente - NE	48

Fig. 4.3 - Lateral direita - NW	48
Fig. 4.4 - Plantas da fase 1	49
Fig. 4.5 – Alçados da fase 1.....	49
Fig. 4.6 - Dados climáticos – Folha LNEG	50
Fig. 4.7 – Envolvente térmica nas plantas RCH e piso 1 e cortes A e B	51
Fig. 4.8 - Solução construtiva das paredes em contacto com o exterior	52
Fig. 4.9 - Solução construtiva do pavimento em contacto com ENU	53
Fig. 4.10 - Solução construtiva da cobertura em contacto com ENU.....	54
Fig. 4.11 - Solução construtiva da parede em contacto com o solo.....	56
Fig. 4.12 - Solução construtiva do pavimento em contacto com o solo.....	57
Fig. 4.13 - Esquema representativo das áreas de uma janela	59
Fig. 4.14 - Quadro 2 da Norma NP 1037-1	63
Fig. 4.15 - Caudais a extrair e a admitir nos compartimentos de serviço e principais	63
Fig. 4.16 - Quadro 4 da Norma NP 1037-1	64
Fig. 4.17 - Sombreamentos da habitação.....	68
Fig. 4.18 - Esquema de instalação de Aquecimento e AQS	97
Fig. 4.19 - Temperaturas relacionadas com a emissão calorífica de um painel	102
Fig. 4.20- Diâmetros tubagem de cobre - BaxiRoca	104
Fig. 4.21 - Folhas psicométricas <i>Daikin</i> e valores obtidos	108
Fig. 4.22 - Rede 3D - ligações à caldeira	113
Fig. 4.23 - Rede de aquecimento – solução projetada	113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Msi – Elementos EL1	40
Tabela 3.2 – Msi – Elementos EL2	41
Tabela 3.3 – Msi – Elementos EL3	41
Tabela 3.4 – r – Elementos EL1, EL2 e EL3.....	42
Tabela 4.1 - Cálculo do U das paredes em contacto com o exterior.....	52
Tabela 4.2 - Cálculo do U da solução regulamentar - paredes em contacto com o exterior	53
Tabela 4.3 - Cálculo do U do pavimento em contacto com ENU	53
Tabela 4.4 - Cálculo do U da solução regulamentar - pavimento em contacto com ENU	54
Tabela 4.5 - Cálculo do U da cobertura em contacto com ENU	55
Tabela 4.6 - Cálculo do U da solução regulamentar - cobertura em contacto com ENU.....	55
Tabela 4.7 - Cálculo do U da parede em contacto com o solo	56
Tabela 4.8 - Cálculo do U da parede em contacto com o solo	57
Tabela 4.9 - Cálculo do U das portas de entrada	57
Tabela 4.10 - Cálculo do U dos envidraçados.....	58
Tabela 4.11 - Cálculo do U da solução regulamentar - envidraçados	60
Tabela 4.12 - Determinação da inércia térmica	61
Tabela 4.13 – Caudais a extrair e a admitir nos compartimentos de serviço e principais.....	64
Tabela 4.14 – Dados de entrada para o cálculo da ventilação.....	66
Tabela 4.15 – Cálculo da solução regulamentar – ventilação	67
Tabela 4.16 - Soluções definidas em projeto de arquitetura.....	68
Tabela 4.17 - Cálculo do Hext.....	69
Tabela 4.18 - Cálculo do Henu.....	70

Tabela 4.19 - Cálculo do H_{ecs}	70
Tabela 4.20 - Cálculo do $Q_{tr,i}$	71
Tabela 4.21 - Cálculo do $Q_{ve,i}$	71
Tabela 4.22 - Cálculo do $Q_{int,i}$	72
Tabela 4.23 - Cálculo do $Q_{sol,i}$	72
Tabela 4.24 - Cálculo do $Q_{gu,i}$	73
Tabela 4.25 - Cálculo do N_{ic}	73
Tabela 4.26 - Cálculo do $H_{ext,ref}$	74
Tabela 4.27 - Cálculo do $H_{enu,ref}$	74
Tabela 4.28 - Cálculo do $H_{ecs,ref}$	75
Tabela 4.29 - Cálculo do $Q_{tr,i,ref}$	75
Tabela 4.30 - Cálculo do $Q_{ve,i,ref}$	76
Tabela 4.31 - Cálculo do $Q_{int,i,ref} = Q_{int,i}$	76
Tabela 4.32 - Cálculo do $Q_{sol,i,ref}$	76
Tabela 4.33 - Cálculo do $Q_{gu,i,ref}$	77
Tabela 4.34 - Cálculo do N_i e verificação.....	77
Tabela 4.35 - Cálculo do $Q_{tr,v}$	78
Tabela 4.36 - Cálculo do $Q_{ve,v}$	78
Tabela 4.37 - Cálculo do $Q_{int,v}$	79
Tabela 4.38 - Cálculo do $Q_{sol,v}$	79
Tabela 4.39 - Cálculo do $Q_{g,v}$	80
Tabela 4.40 - Cálculo do N_{vc}	80
Tabela 4.41 - Cálculo do N_v e verificação.....	81
Tabela 4.42 - Cálculo do N_{tc} para aquecimento	82
Tabela 4.43 - Cálculo do N_{tc} para arrefecimento.....	83
Tabela 4.44 - Cálculo do N_{tc} para produção de AQS.....	83
Tabela 4.45 - Cálculo do N_{tc}	84

Tabela 4.46 - Cálculo do N_t para aquecimento	84
Tabela 4.47 - Cálculo do N_t para arrefecimento	84
Tabela 4.48 - Cálculo do N_t para produção de AQS	85
Tabela 4.49 - Cálculo do N_t e verificação	85
Tabela 4.50 – Solução com U 's regulamentares	86
Tabela 4.51 - Cálculo do H_{ext} – solução com U 's regulamentares	87
Tabela 4.52 - Cálculo do H_{enu} – solução com U 's regulamentares	87
Tabela 4.53 - Cálculo do H_{ecs} – solução com U 's regulamentares	88
Tabela 4.54 - Cálculo do $Q_{tr,i}$ – solução com U 's regulamentares	88
Tabela 4.55 - Cálculo do $Q_{sol,i}$ – solução com U 's regulamentares.....	89
Tabela 4.56 - Cálculo do $Q_{gu,i}$ – solução com U 's regulamentares	89
Tabela 4.57 - Cálculo do N_{ic} – solução com U 's regulamentares.....	90
Tabela 4.58 - Cálculo do N_i e verificação – solução com U 's regulamentares.....	91
Tabela 4.59 - Cálculo do $Q_{tr,v}$ – solução com U 's regulamentares.....	91
Tabela 4.60 - Cálculo do $Q_{sol,v}$ – solução com U 's regulamentares.....	92
Tabela 4.61 - Cálculo do $Q_{g,v}$ – solução com U 's regulamentares	92
Tabela 4.62 - Cálculo do N_{vc} – solução com U 's regulamentares.....	93
Tabela 4.63 – Verificação com o N_v – solução com U 's regulamentares.....	93
Tabela 4.64 - Cálculo do N_{tc} para aquecimento – solução com U 's regulamentares.....	93
Tabela 4.65 - Cálculo do N_{tc} para arrefecimento – solução com U 's regulamentares.....	94
Tabela 4.66 - Cálculo do N_{tc} – solução com U 's regulamentares	94
Tabela 4.67 - Cálculo do N_t e verificação – solução com U 's regulamentares.....	95
Tabela 4.68 – Comparação das soluções.....	95
Tabela 4.69 - Resultados da estação de aquecimento.....	96
Tabela 4.70 – Área e volume dos compartimentos	105
Tabela 4.71 - Cálculo do Q_{ext} - solução projetada.....	106
Tabela 4.72 - Cálculo do Q_{int} - solução projetada	106

Tabela 4.73 - Cálculo do Qecs - solução projetada.....	107
Tabela 4.74 - Cálculo do Qenvolvente - solução projetada.....	107
Tabela 4.75 - Cálculo do Qvent - solução projetada.....	109
Tabela 4.76 - Cálculo da CT,i - solução projetada.....	109
Tabela 4.77 - Emissão calorífica dos radiadores.....	110
Tabela 4.78 - Cálculo da emissão calorífica dos radiadores	111
Tabela 4.79 - Dimensionamento de radiadores	111
Tabela 4.80 - Cálculo da potência necessária da caldeira	112
Tabela 4.81 - Dimensionamento do depósito acumulador	112
Tabela 4.82 - Dimensionamento tubagens cobre - ida	114
Tabela 4.83 - Dimensionamento tubagens cobre - retorno	114
Tabela 4.84 - Cálculo do Qext - solução com U's regulamentares	115
Tabela 4.85 - Cálculo do Qint - solução com U's regulamentares.....	116
Tabela 4.86 - Cálculo do Qecs - solução com U's regulamentares.....	116
Tabela 4.87 - Cálculo do Qenvolvente - solução com U's regulamentares.....	116
Tabela 4.88 - Cálculo do Qvent - solução com U's regulamentares.....	117
Tabela 4.89 - Cálculo da CT,i - solução com U's regulamentares.....	117
Tabela 4.90 - Dimensionamento de radiadores	118
Tabela 4.91 - Dimensionamento tubagens cobre - ida	119
Tabela 4.92 - Dimensionamento tubagens cobre - retorno	119
Tabela 4.93 - Comparação dos resultados	120
Tabela 4.94 - Comparação de custos.....	120

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

Este relatório apresenta o desenvolvimento de um estudo simples de climatização e preparação de águas quentes sanitárias de uma habitação unifamiliar, bem como a descrição de todas as outras atividades desenvolvidas durante o período de estágio.

O estudo tem como objetivo a análise de equipamentos de aquecimento ambiente e de águas quentes sanitárias e dimensionamento de uma solução para a habitação em análise, para que seja possível efetuar uma descrição das metodologias a aplicar e elaborar uma folha de cálculo que facilite o dimensionamento dessa solução e outras igualmente simples.

1.2 ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Neste capítulo é feita uma introdução ao relatório onde são apresentados os objetivos e a organização do mesmo.

No capítulo seguinte do relatório é apresentada a empresa na qual foi realizado o estágio e discriminadas as atividades que foram desenvolvidas em ambiente empresarial, ao longo do semestre.

No capítulo 3 é enumerada a legislação, e respetivas alterações, necessária à realização deste estudo, bem como apresentadas as metodologias que irão ser aplicadas posteriormente, retiradas dessa legislação.

No capítulo 4 é desenvolvido o caso de estudo, onde é efetuado o estudo térmico da habitação, com as soluções construtivas propostas em projeto de arquitetura e respetiva verificação regulamentar. Serão também apresentadas outras soluções construtivas e respetiva comparação ao nível das necessidades energéticas da habitação. A parte final deste capítulo diz respeito ao dimensionamento de um sistema de climatização definido pelo cliente – caldeira elétrica e depósito acumulador. São apresentadas as metodologias de cálculo e aplicadas no dimensionamento de três soluções construtivas distintas definidas no ponto relativo ao desempenho térmico.

CAPÍTULO 1

Para concluir, é realizado um estudo comparativo de custos de diversas soluções de equipamentos de climatização que utilizam outras fontes de energia e/ou diferentes métodos para o aquecimento.

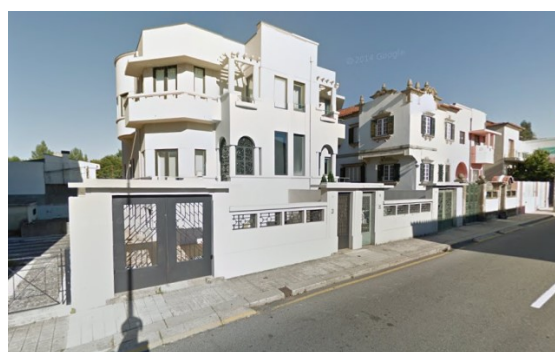
2 ESTÁGIO EM AMBIENTE EMPRESARIAL

2.1 EMPRESA

De seguida, é apresentada a empresa (Fig. 2.1) na qual foi realizado o estágio curricular e que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.



a) Logótipo da Empresa (alfaengenharia)



b) Fotografia da Empresa (Google Maps)

Fig. 2.1 - alfaengenharia

O estágio teve lugar na empresa *alfaengenharia – engenharia civil e acústica*, localizada na Rua Joaquim Kopke, no Porto.

A empresa dedica-se essencialmente a projetos de especialidades associadas à Engenharia Civil, e simultaneamente, efetua o acompanhamento e coordenação de obra, bem como avaliações imobiliárias e análise de investimento imobiliário.

2.2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Nos pontos seguintes é apresentada uma descrição sucinta do trabalho realizado ao longo do semestre na empresa.

2.2.1 Avaliação de terrenos

No período inicial do estágio, começou-se por efetuar um projeto relacionado com a avaliação de terrenos. As tarefas incluíam analisar o processo em questão e classifica-lo em termos de Plano Diretor Municipal e outros regulamentos que daí sucediam, nomeadamente o regulamento da Reserva Agrícola Nacional (RAN) e o Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC). A partir daí, efetuou-se um relatório com a descrição dos terrenos, a sua viabilidade construtiva e a respetiva avaliação imobiliária.

Em estudo estavam dois terrenos, com uma área total de 55.200 m², um classificado como solo urbano e outro como solo rural (em termos de PDM). Os métodos utilizados para avaliação foram o método comparativo, método do custo e do rendimento, foi obtido o valor aproximado de 2.900.000€.

2.2.2 Projeto de térmica

Foi elaborado um documento com as metodologias de cálculo relativas ao estudo de desempenho térmico de edifícios e respetiva folha de cálculo para o cálculo dos parâmetros legislativos.

A folha de cálculo elaborada serviu de aplicação no caso específico que é tema do caso de estudo (Cap. 4). Foi também utilizada a folha de cálculo disponibilizada pelo ITECONS – “Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade, que é uma associação sem fins lucrativos e que funciona como interface dinâmica do conhecimento entre a universidade e a indústria.” (<http://www.itecons.uc.pt/>).

2.2.3 Projeto de climatização

O projeto de climatização elaborado na empresa consistiu na conceção de um manual com as diretrizes para o dimensionamento de soluções de aquecimento central e AQS simples para que fosse possível ser concretizado por Engenheiros Civis.

Para além do manual, foi também efetuada uma folha de cálculo em Excel, que permite o dimensionamento dos equipamentos. No caso específico que é abordado no caso de estudo, permitiu o dimensionamento da caldeira, dos radiadores, do depósito acumulador e das tubagens. Essa folha de cálculo irá ser demonstrada no Capítulo 4.

3 ENQUADRAMENTO LEGAL DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

A legislação necessária à avaliação do desempenho térmico de um edifício de habitação tem sofrido alterações ao longo dos últimos anos, assim será apresentada no ponto seguinte (3.1), a documentação consultada para o presente estudo e as respetivas atualizações.

Nos pontos 3.2, 3.3 e 3.4 serão apresentados os requisitos de comportamento técnico do edifício, as metodologias de cálculo e os parâmetros térmicos, que se encontram definidos em regulamentação mencionada no ponto seguinte. Toda a informação presente nesses 3 subcapítulos foi retirada dos respetivos regulamentos que são da autoria do membro do Governo responsável pela área de energia.

3.1 ALTERAÇÕES LEGISLATIVAS

Neste ponto, expõe-se a documentação consultada para o presente estudo e menciona-se as respetivas atualizações, quando for o caso:

- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) – DL 118/2013, alterado por DL 68-A/2015 de 30 de Abril (1ª alteração) e por DL 194/2015 de 14 de Setembro (2ª alteração), que “estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.” (REH);
- Portaria 349-B/2013, alterada pela Portaria 379-A/2015, que “define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE (Sistema de Certificação Energética de Edifícios), bem como os requisitos de

comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção.” (Portaria 349-B/2013);

- Despacho 15793-I/2013, que “procede à publicação das metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais de energia primária”. (Despacho 15793-I/2013);
- Despacho 15793-K/2013, que “procede à publicação dos parâmetros térmicos (...)”. (Despacho 15793-K/2013);
- Dados climáticos produzidos pelo LNEG (Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia) para a ADENE no âmbito da revisão do Sistema Nacional de Certificação de Edifícios.
- Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50 (Informação Técnica de Edifícios) do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), que apresenta “valores convencionais de cálculo, por um lado, de condutibilidades térmicas de materiais e de resistências térmicas superficiais, de espaços de ar não-ventilados e de alguns elementos opacos de construção e, por outro lado, dos coeficientes de transmissão térmica de soluções correntes das envoltentes opaca e envidraçada dos edifícios.” (ITE 50);
- Norma NP 1037-1: “Edifícios de habitação. Ventilação natural”, que define “as regras a que devem obedecer os sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, de modo a que os mesmos cumpram a sua função nos seus múltiplos aspetos, como seja o funcionamento dos aparelhos a gás e a qualidade do ar interior.” (NP 1037-1);

3.2 REQUISITOS DE COMPORTAMENTO TÉCNICO DO EDIFÍCIO

Os requisitos de comportamento técnico de edifícios sujeitos a grande intervenção encontram-se definidos na Portaria 379-A/2015 e descreve-se de seguida os pontos da regulamentação, aplicáveis à habitação em estudo.

1. VALORES MÁXIMOS DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS:

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i) deve ser determinado de acordo com a metodologia indicada no ponto 3.3 do presente documento, considerando valores e condições de referência e obtido a partir da seguinte expressão:

$$N_i = (Q_{tr,i_{ref}} + Q_{ve,i_{ref}} - Q_{gu,i_{ref}}) / A_p \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (3.1)$$

$Q_{tr,i_{ref}}$ – transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{ve,i_{ref}}$ – transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i_{ref}}$ – ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, [kWh];

A_p – área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, [m²].

Sendo estes parâmetros determinados de acordo o exposto nas alíneas seguintes:

a) O valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente, $Q_{tr,i_{ref}}$, deve ser determinado considerando:

i. Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}) para elementos opacos e envidraçados previstos na Tabela I.01 da Portaria 379-A/2015, ver Fig. 3.1, em função do tipo de elemento da envolvente e da zona climática;

ii. Coeficientes de transmissão térmica linear (ψ_{ref}) indicados na Tabela I.02 da Portaria 379-A/2015, ver Fig. 3.2, em função do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício;

iii. Área de vãos até 20% da área interior útil de pavimento do edifício, devendo a eventual área excedente ser somada à área de envolvente opaca exterior, sendo que para ambos os tipos de elementos devem ser usados os respetivos U_{ref} referidos na subalínea i.

b) O valor de referência da transferência de calor por ventilação através da envolvente, $Q_{ve,i_{ref}}$, deve ser determinado considerando uma taxa de renovação de ar de referência ($R_{ph,ref}$) igual à taxa de renovação para o edifício em estudo, até um máximo de 0,60 renovações por hora.

c) O cálculo dos ganhos de calor úteis $Q_{gu,i_{ref}}$, deve ser determinado considerando:

i. Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar ($Q_{sol} = G_{sul} \times 0,182 \times 0,20 A_p \times M$) e internos;

ii. Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência $\eta_{i_{ref}} = 0,60$.

É de salientar que os valores dos coeficientes U de referência publicados em 2013 e a previsão para 2016 não se encontram em vigor nem chegaram a ser aplicados, respetivamente, em virtude da publicação da Portaria 379-A/2015 que entrou em vigor a 1 de Janeiro de 2016.

Tabela I.01

Coefficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

U_{ref} [W/(m ² .°C)]		Zona Climática					
		Portugal Continental					
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 1 de janeiro de 2016		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0,7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,40	0,35	0,30
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0,7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,60	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,40	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		
		Regiões autónomas					
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0,7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,65	0,50	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0,7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	0,90	0,80	0,70
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,70	0,70	0,60
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Fig. 3.1 - Tabela I.01 da Portaria 379-A/2015

TABELA I.02

Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, ψ_{ref} [W/(m.°C)]

Tipo de ligação	ψ_{ref} [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾ Fachada com varanda ⁽¹⁾	0,50
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,40
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,20

(1) Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

Fig. 3.2 – Tabela I.02 da Portaria 379-A/2015

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v) de um edifício será calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$N_v = (1 - \eta v_{ref}) \times Q_{g,v_{ref}} / A_p \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (3.2)$$

onde:

ηv_{ref} – Fator de utilização de ganhos de referência;

$Q_{g,v_{ref}}$ – Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, [kWh];

a) O fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento é dado pela equação:

$$\eta v_{ref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & \Delta\theta \leq 0 \end{cases} \text{ e } \Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad (3.3)$$

onde:

$\theta_{ref,v}$ – temperatura interior de referência na estação de arrefecimento, contabilizada em 25 graus celsius (°C);

$\theta_{ext,v}$ – temperatura exterior média na estação de arrefecimento no local, de acordo com os dados climáticos do local.

b) Os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, são dados pela expressão seguinte, tendo em conta os parâmetros de referência abaixo indicados:

$$Q_{g, v_{ref}}/Ap = [4 \times 2,928 + g_{v_{ref}} \times (Aw/Ap)_{ref} \times Isol_{ref}] \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (3.4)$$

onde:

$g_{v_{ref}}$ – fator solar de referência para a estação de arrefecimento, contabilizado em 0,43.

$Isol_{ref}$ – radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, de acordo com os dados climáticos do local, $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$;

Aw/Ap – razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 20%;

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária (Nt) corresponde ao valor das referidas necessidades, admitindo a inexistência de consumos de energia associados à ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, incluindo sistemas de energia solar para preparação de águas quentes sanitárias (AQS), considerando de igual modo os valores e condições de referência indicados na Tabela I.03 da Portaria 379-A/2015, ver Fig. 3.3, para os principais parâmetros, em substituição das soluções previstas ou instaladas no edifício e calculando de acordo com a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} Nt = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \times N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} \\ & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \times N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} \\ & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \times Q_a/Ap}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} \end{aligned} \quad [\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad (3.5)$$

onde:

Q_a – necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k , [kWh/ano];

$f_{i,k}$ – parcela das necessidades de energia de aquecimento supridas pelo sistema de referência k ;

$f_{v,k}$ – parcela das necessidades de energia de arrefecimento supridas pelo sistema de referência k ;

f_a,k – parcela das necessidades de energia de preparação de AQS supridas pelo sistema de referência k ;

$\eta_{ref,k}$ – valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS, conforme indicados na Tabela I.03 da Portaria 379-A/2015;

j – fonte de energia;

$F_{pu,j}$ – fator de conversão para energia primária de acordo com a fonte de energia do tipo de sistemas de referência utilizado, [kWh_{EP}/kWh].

O termo da expressão do referente à preparação de AQS, será calculado com base nos valores previstos para o consumo médio diário de referência, e com o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados para o efeito, conforme disposto na Tabela I.03 da Portaria 379-A/2015.

Para efeitos do parágrafo anterior, fator de eficiência hídrica (f_{eh}) é igual a 1,0.

Nas situações em que um ou mais dos sistemas técnicos do edifício não se enquadrem nas soluções de referência especificadas na Tabela I.03 da Portaria 379-A/2015, o cálculo do N_t deverá considerar as respetivas soluções com a expressão “*outros sistemas*”.

Tabela I.03**Soluções de referência de sistemas a considerar na determinação do N_t**

Tipo de sistema	Soluções de referência
Sistemas para aquecimento ambiente	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> O valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela I.16 a caldeiras, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) que recorram a equipamentos de queima de combustível. O valor de eficiência da(s) correspondente(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela I.10, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) de ar condicionado. Um valor de eficiência igual a 1, no caso de o edifício prever ou dispor de "outros sistemas" com recurso a eletricidade, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito). Nas situações em que se preveja ou disponha de um sistema solar térmico, considerar que as necessidades de energia afetas a esse sistema são supridas pelo equipamento de apoio do mesmo ou, na ausência deste último, por um "sistema por defeito".
Sistemas para arrefecimento ambiente	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> O valor de eficiência da(s) correspondente(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela I.10, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) de ar condicionado. Um sistema de ar condicionado do tipo split ou multisplit, com permuta ar-ar e com um valor de eficiência igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela I.10 e no caso de "outros sistemas" que não se enquadrem na situação anterior, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito).
Preparação de AQS	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> O valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe indicada na Tabela I.16, referente a caldeiras, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) que recorram a equipamentos de queima de combustível, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito) e o edifício disponha de rede de abastecimento de combustível gasoso.
Tipo de sistema	Soluções de referência
	<ul style="list-style-type: none"> Um valor de coeficiente de desempenho (COP) igual a 2,8, no caso de o edifício prever ou dispor de sistemas com produção térmica por bomba(s) de calor. Um valor de eficiência igual a 0,95, no caso de o edifício prever ou dispor de outros sistemas com recurso a eletricidade, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito) e o edifício não disponha de rede de abastecimento de combustível gasoso. Nas situações em que se preveja ou disponha de um sistema solar térmico, considerar que as necessidades de energia afetas a esse sistema são supridas pelo equipamento de apoio do mesmo ou, na ausência deste último, por um "sistema por defeito". Existência de isolamento aplicado na tubagem de distribuição de AQS.

Fig. 3.3 – Tabela I.03 da Portaria 379-A/2015**2. QUALIDADE TÉRMICA DA ENVOLVENTE:****➤ ENVOLVENTE OPACA:**

Nenhum elemento da zona corrente da envolvente opaca do edifício, onde se incluem elementos construtivos do tipo paredes, pavimentos ou coberturas, deverá ter um coeficiente de transmissão térmica (U) superior aos valores máximos que constam da Tabela I.05A da Portaria 379-A/2015, relativa a requisitos de qualidade térmica. Os elementos da envolvente envidraçada passam também a estar

sujeitos a requisitos energéticos conforme previsto na Tabela I.05B da Portaria 379-A/2015, não podendo apresentar um U superior aos valores máximos indicados na referida tabela, ver Fig. 3.4.

Tabela I.05A

Requisitos de qualidade térmica — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos, $U_{máx}$ [W/(m².°C)]

$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]		Zona climática		
Portugal Continental		A partir de 1 de dezembro 2013		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	1,75	1,60	1,45
	Elementos opacos horizontais	1,25	1,00	0,90
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20
Regiões Autónomas		A partir de 1 de dezembro 2013		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	1,75	1,60	1,45
	Elementos opacos horizontais	1,25	1,00	0,90
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20

Tabela I.05B

Requisitos energéticos — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados, $U_{máx}$ [W/(m².°C)]

$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]		Zona climática		
Portugal Continental		A partir de 31 de dezembro 2015		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20
Regiões Autónomas		A partir de 31 de dezembro 2015		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,45	0,40	0,35
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20

Fig. 3.4 – Tabela I.05 da Portaria 379-A/2015

Todas as zonas de qualquer elemento opaco exterior que constituem zona de ponte térmica plana (PTP), nomeadamente pilares, vigas, caixas de estore, deverão ter um valor do coeficiente de transmissão térmica (UPTP), calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, não superior a 0,9 W/(m².°C).

➤ VÃOS ENVIDRAÇADOS:

Os envidraçados, cujo somatório das áreas dos vãos envidraçados, A_{env} , seja superior a 5% da área de pavimento do compartimento servido por estes, A_{pav} , e desde que não orientados no quadrante Norte inclusive, devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção 100% ativados (g_T), que obedeça às seguintes condições:

a) se:

$$A_{env} \leq 15\% \times A_{pav} \rightarrow g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tmáx} \quad (3.6)$$

b) se:

$$A_{env} > 15\% \times A_{pav} \rightarrow g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tmáx} \times \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)} \quad (3.7)$$

onde:

g_T – fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

F_o – fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

F_f – fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício;

$g_{T\text{máx}}$ – fator solar global máximo admissível aos vãos envidraçados, obtido da Tabela I.06 da Portaria 379-A/2015, ver Fig. 3.5;

A_{env} – soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento, [m²];

A_{pav} – área de pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s), [m²].

TABELA I.06

Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, $g_{T\text{máx}}$

$g_{T\text{máx}}$	Zona climática		
Classe de Inércia	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Fig. 3.5 – Tabela I.06 da Portaria 379-A/2015

3. VALOR MÍNIMO DE TAXA DE RENOVAÇÃO DO AR:

Nos edifícios de habitação, o valor de taxa de renovação horária de ar calculado de acordo com as disposições previstas para o efeito em Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora.

4. SISTEMAS TÉCNICOS:

➤ REQUISITOS GERAIS:

Independentemente do tipo, os sistemas técnicos a instalar devem cumprir os seguintes requisitos e condições:

- a) As instalações de climatização com potência térmica nominal superior a 25 kW devem ser objeto de elaboração de projeto de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), por projetista reconhecido para o efeito;
- b) As redes de transporte e distribuição de fluidos térmicos, incluindo os sistemas de acumulação, em sistemas de climatização e/ou de preparação de AQS, devem cumprir com os requisitos de conceção aplicáveis definidos nas Tabelas I.07 a I.09 da Portaria 379-A/2015, ver Fig. 3.6;
- c) As espessuras de isolamento apresentadas serão válidas para materiais com uma condutibilidade térmica de 0,040 W/m.°C a 20°C, sendo que para materiais com condutibilidade térmica diferente, o requisito de espessura mínima deverá ser corrigido de forma a garantir a mesma resistência térmica;

TABELA I.07

Espessuras mínimas de isolamento de tubagens (mm)

Diâmetro (mm)	Fluido interior quente				Fluido interior frio			
	Temperatura do fluido (°C)				Temperatura do fluido (°C)			
	40 a 65 (1)	66 a 100	101 a 150	151 a 200	-20 a -10	-9,9 a 0	0,1 a 10	> 10
D ≤ 35	20	20	30	40	40	30	20	20
35 < D ≤ 60	20	30	40	40	50	40	30	20
60 < D ≤ 90	30	30	40	50	50	40	30	30
90 < D ≤ 140	30	40	50	50	60	50	40	30
D > 140	30	40	50	60	60	50	40	30

(1) Para efeitos de isolamento das redes de distribuição de água quente sanitária (redes de sistemas secundários sem recirculação), pode-se considerar um valor não inferior a 10mm.

Fig. 3.6 – Tabelas I.07 a I.09 da Portaria 379-A/2015

- d) Os sistemas técnicos para climatização devem dispor de mecanismos de controlo e regulação que garantam, pelo menos, a limitação dos valores máximos e mínimos da temperatura do ar interior, conforme o que for aplicável, em qualquer espaço ou grupo de espaços climatizado;
- e) Os sistemas técnicos para climatização com potência térmica nominal igual ou superior a 50 kW, devem dispor de mecanismos de controlo e regulação que garantam, pelo menos, as seguintes funções:

- i) Regulação da potência de aquecimento e de arrefecimento dos equipamentos às necessidades térmicas do edifício ou espaços climatizados;
 - ii) Possibilidade de controlo do sistema de climatização por espaço ou grupo de espaços, em período de não ocupação;
 - iii) Possibilidade de parametrização de horários de funcionamento;
- f) Os sistemas técnicos devem dispor de marcação CE e estar devidamente caracterizados em termos do seu desempenho energético ou das características técnicas que possam determinar ou afetar esse desempenho, devendo essa caracterização ser evidenciada através de etiqueta energética, sempre que exista um sistema de etiquetagem aplicável que decorra de:
- i) Diretiva Europeia ou legislação nacional em vigor;
 - ii) Reconhecimento formal pelo SCE de sistema estabelecido para esse efeito, mediante Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia.

3.3 METODOLOGIAS DE CÁLCULO

As metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais anuais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária foram consultadas no Despacho 15793-I/2013.

1. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO:

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são determinadas, para efeitos do despacho 15793-I/2013, de acordo com as disposições da norma europeia EN ISO 13790, considerando o método sazonal de cálculo de necessidades de aquecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma e que cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência.

➤ EXPRESSÃO GERAL E FORMA DE CÁLCULO:

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício, N_{ic} , é calculado pela expressão seguinte:

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})/A_p \quad [\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}] \quad (3.8)$$

onde:

$Q_{tr,i}$ – transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh];

$Q_{ve,i}$ – transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh].

$Q_{gu,i}$ – ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh].

A metodologia de cálculo das perdas e dos ganhos na estação de aquecimento encontra-se definida nos pontos seguintes, sendo que os parâmetros térmicos e demais informação relevante para o cálculo encontram-se previstos no Despacho 15793-K/2013 e serão abordados no capítulo seguinte.

➤ TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE:

Ao longo da estação de aquecimento e devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, a transferência de calor por transmissão global, que ocorre através da envolvente, traduz-se em perdas de calor calculadas de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.9)$$

onde:

GD – número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região (podem ser consultados nos dados climáticos produzidos pelo LNEG), [°C.dia];

$H_{tr,i}$ – coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento (Despacho 15793-K/2013), [W/°C].

➤ PERDAS DE CALOR POR RENOVAÇÃO DE AR:

As perdas de calor por ventilação correspondentes à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento são calculadas de acordo com a equação:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.10)$$

onde:

$$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph,i} \times Ap \times Pd \quad [\text{W}/^{\circ}\text{C}] \quad (3.11)$$

onde:

$R_{ph,i}$ – taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento (Despacho 15793-K/2013), $[\text{h}^{-1}]$, obtida pela folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC;

Pd – pé direito médio da fração, $[\text{m}]$;

$H_{ve,i}$ – coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, $[\text{W}/^{\circ}\text{C}]$.

➤ GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS:

A conversão da parte dos ganhos térmicos brutos que se traduzem em ganhos térmicos úteis faz-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \times Q_{g,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.12)$$

onde:

η_i – fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento (Despacho 15793-K/2013);

$Q_{g,i}$ – ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, $[\text{kWh}]$.

Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício têm duas origens, conforme a equação seguinte:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.13)$$

onde:

$Q_{int,i}$ – ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{sol,i}$ – ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, [kWh].

Com exclusão do sistema de aquecimento, os ganhos térmicos internos incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, nomeadamente, os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes, e o calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação e podem ser calculados, durante toda a estação de aquecimento, de acordo com a seguinte:

$$Q_{int,i} = 0,72 \times 4 \times M \times A_p \quad [\text{kWh}] \quad (3.14)$$

onde:

M – duração média da estação convencional de aquecimento (consultado nos Dados Climáticos do LNEG), [mês].

Para efeitos regulamentares, o cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento deve ser efetuado de acordo com a metodologia abaixo indicada e na qual os ganhos solares são calculados de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_j \left[X_j \times \sum_n F_{s,ijn} \times A_{s,ijn} \right] \times M \quad [\text{kWh}] \quad (3.15)$$

onde:

G_{sul} – valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície (consultado nos Dados Climáticos do LNEG), [kWh/m².mês];

X_j – fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a Tabela 01 do Despacho 15793-I/2013, ver Fig. 3.7;

$F_{s,i_{nj}}$ – fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento (consultado no Despacho 15793-K/2013);

$A_{s,i_{nj}}$ – área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com orientação j , [m²];

j – índice que corresponde a cada uma das orientações;

n – índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j ;

Tabela 01 – Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

Fig. 3.7 – Tabela 01 do Despacho 15793-I/2013

O valor de área efetiva coletora, $A_{s,i}$, deve ser calculado vão a vão, de acordo com a seguinte expressão:

$$A_{s,i_{nj}} = A_w \times F_g \times g_i \quad [\text{m}^2] \quad (3.16)$$

onde:

A_w – área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m²];

F_g – fração envidraçada do vão envidraçado, obtida de acordo com o Despacho 15793-K/2013;

g_i – fator solar de inverno.

Para efeito de cálculo na aplicação do presente regulamento, podem ser tomados os valores típicos da fração envidraçada de diferentes tipos de caixilharia representados na Tabela 20 do Despacho 15793-K/2013 (ver Fig. 3.8).

Tabela 20 - Fração envidraçada

Caixilharia	F_g	
	Sem quadricula	Com quadricula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

Fig. 3.8 – Tabela 20 do Despacho 15793-K/2013

As situações em que não existam quaisquer dispositivos de sombreamento, o fator solar de inverno será igual ao fator solar do vidro para uma incidência solar normal, afetado do fator de seletividade angular, mediante a expressão:

$$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi} \quad (3.17)$$

sendo estes parâmetros obtidos de acordo com o Despacho 15793-K/2013.

O fator de correção da seletividade angular dos envidraçados, F_w , traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta.

Para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento, o fator $F_{w,i}$ toma o valor 0,9.

Para o cálculo das necessidades nominais de arrefecimento e nos vãos com vidro plano (incolor, colorido ou refletante) simples ou duplo, a redução dos ganhos solares causada pela variação do ângulo de incidência da radiação solar é contabilizada conforme a Tabela 21 do Despacho 15793-K/2013 (ver Fig. 3.9), sendo que, nos restantes casos, incluindo os vãos no plano horizontal, o fator $F_{w,v}$ toma o valor 0,9.

Tabela 21 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w,v}$

Orientação do vão	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

Fig. 3.9 – Tabela 21 do Despacho 15793-K/2013

2. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO:

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento são determinadas, para efeitos do despacho 15793-I/2013, de acordo com as disposições da norma europeia EN ISO 13790, considerando as mesmas simplificações descritas para a estação de aquecimento.

➤ EXPRESSÃO GERAL E FORMA DE CÁLCULO:

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do edifício, N_{vc} , é calculado pela expressão seguinte:

$$N_{vc} = ((1 - \eta_v) \times Q_{g,v}) / A_p \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (3.18)$$

onde:

η_v – fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento, obtida de acordo com o Despacho 15793-K/2013;

$Q_{g,v}$ – ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh].

A metodologia de cálculo do fator de utilização de ganhos térmicos deve aplicada de acordo com o definido no Despacho 15793-K/2013, em função da transferência ao longo da estação de arrefecimento que ocorre por transmissão $Q_{tr,v}$ e devido à renovação do ar $Q_{ve,v}$, bem como dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$, que se encontram definidos nos pontos seguintes.

➤ TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE:

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente calcula-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v}(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times 2,928 \quad [\text{kWh}] \quad (3.19)$$

onde:

$H_{tr,v}$ – coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, [W/°C];

➤ TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DE AR:

A transferência de calor correspondente à renovação de ar interior durante a estação de arrefecimento é calculada de acordo com a equação:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times 2,928 \quad [\text{kWh}] \quad (3.20)$$

onde:

$$H_{ve,v} = 0,34 \times R_{ph,v} \times Ap \times Pd \quad [\text{W/°C}] \quad (3.21)$$

onde:

$R_{ph,v}$ – taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento, obtida de acordo com o Despacho 15793-K/2013, [h⁻¹];

➤ GANHOS TÉRMICOS:

Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento do edifício são obtidos pela soma de duas parcelas, conforme a seguinte equação:

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad [\text{kWh}] \quad (3.22)$$

onde:

$Q_{int,v}$ – ganhos térmicos associados a fontes internas de calor;

$Q_{sol,v}$ – ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada.

Os ganhos térmicos internos calculam-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{int,v} = 4 \times A_p \times 2,928 \quad [\text{kWh}] \quad (3.23)$$

Os ganhos solares na estação de arrefecimento resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada calculam-se de acordo com a seguinte equação, sendo que a determinação do fator de obstrução de superfícies opacas é opcional devendo, quando considerada, seguir uma abordagem comum à dos vãos envidraçados:

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[I_{sol,j} \times \sum_n F_{s,v_{nj}} \times A_{s,v_{nj}} \right] \quad [\text{kWh}] \quad (3.24)$$

onde:

I_{sol} – energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento, $[\text{kWh}/\text{m}^2]$;

$F_{s,v_{nj}}$ – fator de obstrução da superfície do elemento n com orientação j ;

$A_{s,v_{nj}}$ – área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com orientação j , $[\text{m}^2]$;

j – índice que corresponde a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal;

n – índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação j .

A área efetiva coletora de radiação solar de cada vão envidraçado n com orientação j , deve ser calculada através da seguinte expressão, aplicável a espaços úteis e não úteis:

$$A_{s,v_{nj}} = A_w \times F_g \times g_v \quad [\text{m}^2] \quad (3.25)$$

A área efetiva coletora de radiação solar de um elemento n da envolvente opaca exterior, com orientação j é calculada através da seguinte expressão, aplicável a espaços úteis e não úteis:

$$A_{s,v_{nj}} = \alpha \times U \times A_{op} \times R_{se} \quad [m^2] \quad (3.26)$$

onde:

α – coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, , obtida de acordo com o Despacho 15793-K/2013;

U – coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca, $[W/m^2]$;

A_{op} – área do elemento da envolvente opaca exterior, $[m^2]$;

R_{se} – resistência térmica superficial exterior igual a $0,04 \text{ W}/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

3. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA:

➤ EXPRESSÃO GERAL E FORMA DE CÁLCULO:

Para efeitos do despacho 15793-I/2013, as necessidades nominais de energia primária de um edifício de habitação resultam da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com os n usos: aquecimento (N_{ic}), arrefecimento (N_{vc}), produção de AQS (Q_a/A_p) e ventilação mecânica (W_{vm}/A_p), deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável ($E_{ren,p}/A_p$) e de acordo com a seguinte expressão:

$$\begin{aligned}
N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \times N_{ic}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} \\
& + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} \\
& + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \times \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} \\
& + \sum_j \left(\frac{W_{vm,j}}{A_p} \right) \times F_{pu,j} - \sum_p \left(\frac{E_{ren,p}}{A_p} \right) \\
& \times F_{pu,p}
\end{aligned}
\quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (3.27)$$

onde:

$f_{i,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

$f_{v,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k ;

$f_{a,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k ;

η_k - Eficiência do sistema k , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

j - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

p - Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}$ - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida;

W_{vm} - Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ano];

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária, [kWh_{EP}/kWh];

δ - Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

Na aplicação das expressões de cálculo referidas acima devem ser observadas as regras e orientações metodológicas descritas nas seguintes secções e as apresentadas abaixo:

- a) O somatório das parcelas das necessidades de energia útil para cada um dos diferentes usos tem de ser igual a 1;
- b) O somatório da energia produzida a partir de fontes de origem renovável, destinada a suprir diferentes usos, deverá ser menor ou igual à energia consumida para esse tipo de uso.

➤ EFICIÊNCIA DE SISTEMAS TÉCNICOS:

A eficiência nominal de conversão em energia útil do sistema convencional deve corresponder ao valor da eficiência nominal do equipamento de produção especificado na fase de projeto, ou eventualmente instalado após a fase de construção, incluindo os edifícios existentes.

No caso de sistemas que não se encontrem especificados em projeto ou instalados, devem ser considerada as soluções por defeito aplicáveis e indicadas na Portaria 379-A/2015, para os diferentes tipos de sistema.

Se todos os principais compartimentos do edifício, designadamente salas, quartos e similares, excluindo cozinhas, casas de banho e outros compartimentos de serviço, forem servidos por um único sistema de climatização, considera-se, para efeitos de cálculo de N_{tc} , a eficiência do respetivo equipamento de produção e que toda a fração se encontra climatizada.

Na ausência de especificação ou de evidência de isolamento aplicado na tubagem de distribuição do sistema de AQS que assegure garantir uma resistência térmica de, pelo menos $0,25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, a eficiência de conversão em energia útil do equipamento de preparação de AQS deve ser multiplicada por 0,9.

➤ VENTILAÇÃO MECÂNICA:

Quando o edifício não dispuser de sistemas mecânicos de ventilação, W_{vm} toma o valor 0 (zero).

➤ PREPARAÇÃO DE AQS:

A energia útil necessária para a preparação de AQS durante um ano será calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$Qa = (Maqs \times 4187 \times \Delta T \times nd) / 3.600.000 \quad [\text{kWh/ano}] \quad (3.28)$$

onde:

ΔT – aumento de temperatura necessário para a preparação de AQS e que, para efeitos do presente cálculo, toma o valor de referência de 35°C;

nd – número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, para efeitos do presente cálculo, se considera 365 dias.

Nos edifícios de habitação, o consumo médio diário de referência será calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$Maqs = 40 \times n \times feh \quad [\text{litros}] \quad (3.29)$$

onde:

n – numero convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração sendo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia T0, e $n+1$ ocupantes nas tipologias do tipo Tn com $n>0$;

feh – fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo setor das instalações prediais. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $feh=0,90$, sendo que nos restantes casos, $feh=1$.

3.4 PARÂMETROS TÉRMICOS

Os respetivos parâmetros térmicos para o cálculo dos valores do capítulo anterior foram publicados pelo despacho 15793-K/2013.

1. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

O coeficiente global de transferência de calor de um edifício, H_t , é dado pela soma do coeficiente global de transferência de calor por transmissão pela envolvente, H_{tr} , e do coeficiente de transferência de calor por ventilação devido à renovação do ar interior, H_{ve} :

$$H_t = H_{tr} + H_{ve} \quad [W/^{\circ}C] \quad (3.30)$$

O cálculo dos coeficientes de transferência de calor em edifícios deve ser feito de acordo com as normas europeias em vigor.

➤ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DA ENVOLVENTE:

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão traduz a condutância através de toda a superfície dos elementos da envolvente, compreendendo paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas planas, para efeito de cálculo das necessidades na estação de aquecimento resulta da soma de quatro parcelas:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/^{\circ}C] \quad (3.31)$$

onde:

H_{ext} – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, $[W/^{\circ}C]$;

H_{enu} - coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, $[W/^{\circ}C]$;

H_{adj} - coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, $[W/^{\circ}C]$;

H_{ecs} - coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo, [W/°C].

Para efeito de cálculo das necessidades na estação de arrefecimento, o coeficiente global de transferência de calor por transmissão resulta da soma de três parcelas:

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad [W/°C] \quad (3.32)$$

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior calcula-se acordo com a seguinte expressão:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\psi_j \times B_j] \quad [W/°C] \quad (3.33)$$

onde:

A_i – área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício, [m²];

ψ_j - coeficiente de transmissão térmica linear j , calculado de acordo com a Tabela 7 do Despacho 15793-K/2013 (ver Fig. 3.10);

B_j – desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício, [m].

Tabela 07 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares ψ [W/(m.°C)]

Tipo de ligação		Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla
Fachada com pavimentos térreos		0,80	0,70	0,80
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾		0,60	0,15 ⁽²⁾	0,50 ⁽³⁾
Fachada com varanda ⁽¹⁾		0,60	0,60	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 ⁽⁴⁾	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,0	0,80	1,0
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
	O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona da caixa de estores		0,30	0,30	0,30

⁽¹⁾ Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

⁽²⁾ ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ Majorar quando existe um teto falso em: ⁽²⁾ 25%; ⁽³⁾ 50%; ⁽⁴⁾ 70%.

Fig. 3.10 – Tabela 07 do Despacho 15793-K/2013

Os coeficientes de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com espaços não úteis, Henu, e em contacto com edifícios adjacentes, Hadj, calculam-se ambos de acordo com a seguinte expressão:

$$Henu; adj = btr \times \left(\sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\psi_j \times B_j] \right) \quad [W/^\circ C] \quad (3.34)$$

onde:

btr – coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente, determinado de acordo com o descrito na Tabela 22 do Despacho 15793-K/2013, ver Fig. 3.11;

Tabela 22 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, b_{tr}

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50\text{m}^3$		$50\text{m}^3 < V_{enu} \leq 200\text{m}^3$		$V_{enu} > 200\text{m}^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Nota: Para espaços fortemente ventilados b_{tr} , deverá tomar o valor de 1,0.

Fig. 3.11 – Tabela 22 do Despacho 15793-K/2013

f – Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

F – Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Um coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 1$, traduz a redução da transmissão de calor nas situações em que a temperatura do espaço não útil ou do edifício adjacente está compreendida entre a temperatura interior de referência do espaço interior útil e a temperatura exterior.

O cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo deve ser feito de acordo com a metodologia definida na norma EN ISO 13370, ou através da seguinte expressão:

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf_i} \times A_i] + \sum_j [z_j \times P_j \times U_{bw_j}] \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.35)$$

onde:

$U_{bf, i}$ – coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i , determinado de acordo com as Tabelas 03 a 05 do Despacho 15793-K/2013, $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}]$;

A_i – área do pavimento em contacto com o solo i , medida pelo interior do edifício, $[\text{m}^2]$;

z_j – profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j , $[\text{m}]$;

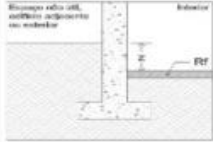
CAPÍTULO 3

P_j – desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior, [m];

$U_{bw,j}$ – coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j , determinado de acordo com a Tabela 06 do Despacho 15793-K/2013, [W/m².°C].

Na situação de pavimento em que este se encontra ao mesmo nível que o solo, o cálculo resume-se à primeira parcela da equação, uma vez que $z=0$.

Tabela 03 - Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico U_{bf} [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

B'	$x \leq 0,5 \text{ m}$				$0,5 \text{ m} < x \leq 1,0 \text{ m}$				$1,0 \text{ m} < x \leq 2,0 \text{ m}$			
	$R_{f1} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$				$R_{f2} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$				$R_{f3} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$			
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3
3	0,65	0,57	0,32	0,24	0,57	0,44	0,30	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22
4	0,57	0,52	0,3	0,23	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21
6	0,47	0,43	0,27	0,21	0,43	0,35	0,25	0,2	0,40	0,33	0,24	0,19
10	0,35	0,32	0,22	0,18	0,32	0,28	0,21	0,17	0,30	0,26	0,20	0,17
15	0,27	0,25	0,18	0,15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14
$x \leq 0,5 \text{ m}$												
$0,5 \text{ m} < x \leq 1,0 \text{ m}$												
$1,0 \text{ m} < x \leq 2,0 \text{ m}$												
B'	$2,0 \text{ m} < x \leq 3,0 \text{ m}$				$x > 3 \text{ m}$							
	$R_{f1} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$				$R_{f2} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$							
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3				
3	0,45	0,37	0,27	0,21	0,39	0,32	0,24	0,20				
4	0,42	0,34	0,25	0,20	0,36	0,30	0,23	0,19				
6	0,36	0,30	0,23	0,18	0,31	0,27	0,21	0,17				
10	0,28	0,24	0,19	0,16	0,25	0,22	0,18	0,15				
15	0,22	0,20	0,16	0,14	0,20	0,18	0,15	0,13				
≥ 20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,17	0,16	0,13	0,12				

Nota 1: Para pavimentos com $x \leq 0,5 \text{ m}$ e resistência térmica inferior a $0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$, o valor do seu coeficiente de transmissão térmica corresponde a $1,15 \times U_{(R_f=0,5)}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$].
 Nota 2: Para pavimentos com $x > 0,5 \text{ m}$ e resistência térmica inferior a $0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$, o valor do seu coeficiente de transmissão térmica corresponde a $1,10 \times U_{(R_f=0,5)}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$].

Tabela 04 - Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral horizontal U_{bf} [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

B'	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$				
	R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]					R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]					R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]				
	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3
3	0,86	0,60	0,46	0,29	0,21	0,79	0,57	0,44	0,29	0,20	0,75	0,55	0,42	0,28	0,20
4	0,74	0,54	0,42	0,29	0,21	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,66	0,50	0,40	0,28	0,20
6	0,59	0,45	0,36	0,26	0,20	0,55	0,43	0,36	0,26	0,20	0,53	0,42	0,35	0,26	0,20
10	0,42	0,34	0,28	0,22	0,18	0,40	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,32	0,27	0,21	0,18
15	0,32	0,26	0,23	0,18	0,15	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15
20	0,26	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13

Nota: Para efeito de aplicação da presente tabela, considera-se como espessura mínima de isolamento o valor de 30mm.

Tabela 05 - Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral vertical U_{bf} [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

B'	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$				
	R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]					R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]					R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]				
	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3
3	0,79	0,57	0,44	0,29	0,20	0,72	0,53	0,41	0,27	0,20	0,68	0,50	0,39	0,26	0,19
4	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,63	0,49	0,39	0,27	0,20	0,60	0,47	0,38	0,26	0,20
6	0,55	0,43	0,36	0,26	0,20	0,51	0,41	0,34	0,25	0,20	0,49	0,40	0,33	0,25	0,19
10	0,40	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,36	0,31	0,27	0,21	0,17
15	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,28	0,24	0,21	0,17	0,15
20	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13

Nota: Para efeito de aplicação da presente tabela, considera-se como espessura mínima de isolamento o valor de 30mm.

Tabela 06 - Coeficiente de transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno, U_{bw} [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

z [m]	R_w [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]					
	0	0,5	1	1,5	2	≥ 3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,23
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,19
≥ 6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,17

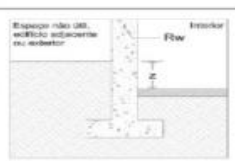


Fig. 3.12 – Tabelas 03 a 06 do Despacho 15793-K/2013

onde:

$$B' = \frac{Ap}{0,5 \times P} \quad [m] \quad (3.36)$$

onde:

P – perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior, [m];

R_f – resistência térmica de todas as camadas do pavimento (consultadas no ITE 50), com exclusão de resistências térmicas superficiais, [m².°C/W];

D – largura ou profundidade do isolamento, respectivamente, no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical, [m];

R_w – resistência térmica da parede sem resistências térmicas superficiais, [m².°C/W].

➤ COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO:

O coeficiente de transferência de calor por ventilação calcula-se através da seguinte equação:

$$H_{ve} = 0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d \quad [W/^{\circ}C] \quad (3.37)$$

onde:

R_{ph} – taxa nominal horária de renovação do ar interior, calculada de acordo com o despacho, [h⁻¹];

2. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR, α :

O valor do coeficiente de absorção da radiação solar da superfície exterior de um elemento opaco α , necessário ao cálculo de ganhos solares na estação de arrefecimento em paredes e coberturas deve ser determinado com base na Tabela 08 do Despacho 15793-K/2013 (Fig. 3.13) em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento.

Tabela 08 - Coeficiente de absorção da radiação solar, α

Cor	α
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Fig. 3.13 – Tabela 08 do Despacho 15793-K/2013

No caso de coberturas em desvão e para além do coeficiente de absorção indicado no parágrafo anterior, deve ser tido em conta o fator que exprime o efeito da emissividade da face interior desta e do grau de ventilação do desvão, com base na Tabela 10 do despacho 15793-K/2013, ver Fig. 3.14.

Tabela 10 - Razão entre o valor do coeficiente de absorção a considerar no cálculo dos ganhos de calor através de uma cobertura em desvão e o valor do coeficiente de absorção da cobertura exterior

Desvão	Emissividade	Fator
Fortemente ventilado	Normal	0,8
	Baixa	0,7
Fracamente ventilado	Normal	1,0
	Baixa	0,9
Não ventilado	Normal	1
	Baixa	

Fig. 3.14 - Tabela 10 do Despacho 15793-K/2013

Para efeitos dos parágrafos anteriores, consideram-se:

- Espaços de ar fortemente ventilados, as situações onde o quociente entre a área total de orifícios de ventilação, em milímetros quadrados, e a área de parede ou cobertura em metros, seja superior a $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$;
- Espaços de ar fracamente ventilados, as situações onde o quociente entre a área total de orifícios de ventilação, em milímetros quadrados, e a área de parede ou cobertura, em metros, seja superior a $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ e igual ou inferior a $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$;
- Baixa emissividade qualquer superfície com uma emissividade igual ou inferior a 0,2.

3. FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS, η :

Tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento, os respetivos fatores de utilização dos ganhos térmicos (η_i) e (η_v) calculam-se de acordo com as seguintes equações:

a) se:

$$\gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 0 \rightarrow \eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad (3.38)$$

b) se:

$$\gamma = 1 \rightarrow \eta = \frac{a}{a-1} \quad (3.39)$$

c) se:

$$\gamma < 0 \rightarrow \eta = \frac{1}{\gamma} \quad (3.40)$$

onde:

$$\gamma = Qg/(Q_{tr} + Q_{ve}) \quad (3.41)$$

onde:

Q_{tr} - Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios, na estação em estudo [kWh];

Q_{ve} - Transferência de calor por ventilação na estação em estudo [kWh];

Qg - Ganhos térmicos brutos na estação em estudo [kWh];

a - Parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica. Sendo igual a um dos seguintes valores: 1,8, para edifícios com inércia térmica fraca, 2,6, correspondente a inércia térmica média, e 4,2 para inércia térmica forte.

4. QUANTIFICAÇÃO DA INÉRCIA TÉRMICA, I_t :

A classe de inércia térmica do edifício ou fração determina-se conforme a Tabela 11 do despacho 15793-K/2013 (Fig. 3.15), de acordo com o valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento.

A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t , calcula-se através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{s,i} \times r \times S_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (3.42)$$

onde:

$M_{s,i}$ - Massa superficial útil do elemento i (ITE 50), $[\text{kg/m}^2]$;

r - Fator de redução da massa superficial útil;

S_i - Área da superfície interior do elemento i , $[\text{m}^2]$;

Tabela 11 - Classes de inércia térmica interior, I_t

Classe de inércia térmica	I_t $[\text{kg/m}^2]$
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Fig. 3.15 – Tabela 11 do Despacho 15793-K/2013

➤ MASSA SUPERFICIAL ÚTIL DE ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO:

A inércia térmica interior de uma fração autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam, e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

A massa superficial útil de cada elemento de construção, $M_{s,i}$, em kg/m^2 é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e do isolamento térmico e das características das soluções de revestimento superficial.

A Figura 01 do despacho 15793-K/2013 (ver Fig. 3.16) ilustra os casos genéricos de elementos construtivos, distinguindo os seguintes tipos de elementos:

- a) EL1 - Elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;
- b) EL2 - Elementos em contacto com o solo;
- c) EL3 - Elementos de compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento).

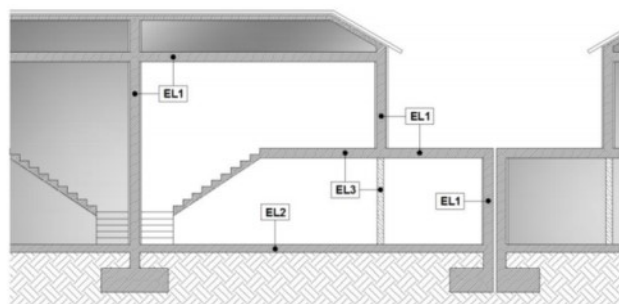


Figura 01 - Identificação dos elementos construtivos para o cálculo da inércia térmica interior

Fig. 3.16 – Figura 01 do Despacho 15793-K/2013

As massas dos diferentes elementos de construção podem ser obtidas em tabelas técnicas ou nas publicações do LNEC sobre a caracterização térmica de paredes de alvenaria e caracterização térmica de pavimentos pré-fabricados, ou ainda, noutra documentação técnica disponível.

O valor de M_{si} no caso de elementos da envolvente exterior ou interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente (EL1) é o exposto na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – M_{si} – Elementos EL1

Constituição do elemento construtivo		$M_{si} \text{ (kg/m}^2\text{)}$	Observações
Sem isolamento térmico	Sem caixa-de-ar	mt/2	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$
	Com caixa-de-ar	mpi	
Com isolamento térmico	-	mi	
	Com caixa-de-ar entre o isolante e a face interior	mpi	

onde:

mt – massa total do elemento;

m_{pi} – massa do elemento desde a caixa-de-ar até à face interior;

m_i – massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior.

O valor de M_{si} no caso de elementos em contacto com o solo (EL2) é o exposto na Tabela 3.2:

Tabela 3.2 – M_{si} – Elementos EL2

Constituição do elemento construtivo	$M_{si} \text{ (kg/m}^2\text{)}$	Observações
Sem isolamento térmico	150	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$
Com isolamento térmico	m_i	

O valor de M_{si} no caso de elementos de compartimentação interior da fração autónoma, compreendendo parede ou pavimento (EL3) é o exposto na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 – M_{si} – Elementos EL3

Constituição do elemento construtivo	$M_{si} \text{ (kg/m}^2\text{)}$	Observações
Sem isolamento térmico	m_t	$M_{si} \leq 300 \text{ kg/m}^2$
Com isolamento térmico	$\sum m_i^{(1)}$	

- ⁽¹⁾ No caso de elementos com uma camada de isolamento térmico, o valor de M_{si} tem de ser avaliado de forma isolada em cada um dos lados da camada de isolamento térmico, sendo que em cada um dos lados $M_{si} = m_i$, onde m_i corresponderá à massa do elemento desde o isolamento térmico até à face em análise.

➤ FATOR DE REDUÇÃO DA MASSA SUPERFICIAL, r :

O fator de redução da massa superficial, r , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior, com inclusão da resistência térmica de uma eventual caixa-de-ar associada, R , considerando-se a aplicação das seguintes disposições:

Tabela 3.4 – r – Elementos EL1, EL2 e EL3

Elementos EL1 e EL2	
R (m ² .°C/W)	r
> 0,3	0
0,14 ≤ R ≤ 0,3	0,5
< 0,14	1

Elementos EL3 ⁽²⁾	
R (m ² .°C/W)	r
> 0,3 em ambas as faces	0
> 0,3 numa das faces e 0,14 ≤ R ≤ 0,3 na outra	0,25
> 0,3 numa das faces e < 0,14 na outra	0,5
0,14 ≤ R ≤ 0,3 em ambas as faces	0,5
0,14 ≤ R ≤ 0,3 numa das faces e < 0,14 na outra	0,75
< 0,14 em ambas as faces	1

- ⁽²⁾ No caso de elementos do tipo EL3 com isolamento térmico, o fator de redução, r, deve ser avaliado em cada uma das faces de forma independente e de acordo com as regras indicadas para os elementos dos tipos EL1 e EL2.

➤ FATOR SOLAR DO VÃO ENVIDRAÇADO NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO:

Para efeito de cálculo das necessidades de aquecimento considera-se que, de forma a maximizar o aproveitamento da radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis estão totalmente abertos.

Nas circunstâncias do parágrafo anterior, considera-se que o fator solar g_i é igual ao fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes $g_i = g_{Tp}$ que, no caso de ausência desses dispositivos, será igual ao fator solar do vidro para uma incidência solar normal (Fig. 3.15) afetado do fator de seletividade angular, mediante a expressão:

$$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi} \quad (3.43)$$

➤ FATOR SOLAR DO VÃO ENVIDRAÇADO NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO:

Para efeito de cálculo das necessidades de arrefecimento considera-se que, de forma a minimizar a incidência de radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis encontram-se ativos uma fração do tempo, que depende do octante no qual o vão está orientado.

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times g_{Tp} \quad (3.44)$$

onde:

F_{mv} – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados;

g_{Tp} – Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

Na ausência de dispositivos de proteção solar fixos, g_{Tp} corresponde $F_{w,i} \times g_{\perp,vi}$.

A fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram totalmente ativados na estação de arrefecimento, F_{mv} , em função da orientação do vão é obtida conforme a Tabela 14 do Despacho 15793-K/2013 (ver Fig. 3.17), considerando-se que, caso não existam dispositivos de proteção solar móveis, F_{mv} corresponde a 0.

Tabela 14 - Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, F_{mv} .

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
F_{mv}	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

Fig. 3.17 – Tabela 14 do Despacho 15793-K/2013

8. FATOR DE OBSTRUÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR:

O fator de obstrução dos vão envidraçados, F_s , representa a redução na radiação solar que incide nestes devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, designadamente:

a) Obstruções exteriores ao edifício, tais como outros edifícios, orografia, vegetação;

b) Obstruções criadas por elementos do edifício, tais como outros corpos do mesmo edifício, palas, varandas e elementos de enquadramento do vão externos à caixilharia.

O valor do fator de obstrução calcula-se de acordo com a seguinte equação:

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f \quad (3.45)$$

onde:

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício.

Em nenhum caso o produto $X_j \times F_h \times F_o \times F_f$ deve ser inferior a 0,27.

A determinação do fator de obstrução de superfícies opacas é totalmente opcional, devendo nos casos em que esta é considerada, seguir uma abordagem igual à prevista para os vãos envidraçados. Nos casos em que a mesma não seja considerada, deverá ser considerado um fator de obstrução igual a 1.

➤ SOMBREAMENTO DO HORIZONTE POR OBSTRUÇÕES:

O fator de sombreamento do horizonte, F_h , traduz o efeito do sombreamento provocado por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou edifícios vizinhos dependendo do ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e da duração da estação de aquecimento.

Para efeitos do parágrafo anterior, despreza-se o efeito do sombreamento do horizonte na estação de arrefecimento, tomando o fator F_h um valor igual a 1.

O ângulo de horizonte é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem 60° para cada um dos lados da normal ao envidraçado.

O ângulo do horizonte deve ser calculado individualmente para cada vão, sendo que caso não exista informação disponível para o efeito, o fator de sombreamento do horizonte F_h deve ser determinado mediante a adoção de um ângulo de horizonte por defeito de 45° em ambiente urbano, ou de 20° no caso de edifícios isolados localizados fora das zonas urbanas.

Para a estação de aquecimento, os valores dos fatores de correção de sombreamento para condições climáticas médias típicas, para as latitudes do Continente, da Região Autónoma da Madeira (RAM) da Região Autónoma dos Açores (RAA) e para os oito octantes principais bem como para o plano horizontal, encontram-se previstos na Tabela 15 do Despacho 15793-K/2013 (ver Fig. 3.18).

Tabela 15 - Valores do fator de sombreamento do horizonte F_h na estação de aquecimento.

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

Fig. 3.18 – Tabela 15 do Despacho 15793-K/2013

➤ SOMBREAMENTO POR ELEMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS:

O sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes aos vãos envidraçados ou por elementos verticais, compreendendo palas, varandas e outros elementos de um edifício, depende do comprimento/ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e do clima local, sendo os valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais e horizontais, F_v e F_o respetivamente, para as estações de aquecimento e arrefecimento, os constantes nas Tabelas 16 a 19 do Despacho 15793-K/2013 (ver Fig. 3.19).

Tabela 16 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de aquecimento.

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Tabela 17 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de arrefecimento

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

Tabela 18 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de aquecimento

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Tabela 19 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de arrefecimento

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

Fig. 3.19 – Tabelas 16 à 19 do Despacho 15793-K/2013

No caso de existirem palas verticais à esquerda e à direita do vão, o fator F_f será o produto dos fatores relativos aos ângulos provocados por cada uma das palas.

Para contabilizar o efeito de sombreamento provocado pelo contorno do vão e exceto quando este se situar à face exterior da parede, o produto $F_o \times F_f$ não deve ser superior a 0,9.

9. TAXA DE RENOVAÇÃO DO AR:

Sempre que o edifício esteja em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1, no caso de edifícios com ventilação natural, ou da norma NP 1037-2, no caso de edifícios com ventilação mecânica centralizada, o valor de R_{ph} a adotar será o valor indicado no projeto de ventilação requerido por essa norma. Nos outros casos, a taxa de renovação horária nominal, R_{ph} , para efeitos do balanço térmico e para a verificação do requisito da taxa mínima de renovação de poderá ser determinada de acordo com o método previsto na norma EN 15242, mediante a consideração do efeito da permeabilidade ao ar da envolvente, da existência de dispositivos de admissão de ar situados nas fachadas, das condutas de ventilação, dos sistemas mecânicos ou híbridos, do efeito de impulsão térmica, também denominado de efeito de chaminé e do efeito da ação do vento, ou com outros dados, desde que tecnicamente adequados e justificados num projeto de ventilação.

Os valores da taxa de renovação de ar a considerar nas estações de aquecimento, $R_{ph,i}$ e de arrefecimento, $R_{ph,v}$, serão determinados de acordo com a folha de cálculo desenvolvida em Excel pelo LNEC.

Na estação de arrefecimento e exclusivamente para efeitos de cálculo, não deverá ser utilizado um valor de $R_{ph,v}$ inferior a $0,6 \text{ h}^{-1}$.

4 ESTUDO DE CASO – CLIMATIZAÇÃO DE UM EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

4.1 DESEMPENHO TÉRMICO

O presente capítulo tem como objetivo estudar o desempenho térmico de uma habitação unifamiliar situada em Baião, ver Fig. 4.1, Fig. 4.2 e Fig. 4.3.



Fig. 4.1 - Lateral esquerda - SE



Fig. 4.2 - Frente - NE



Fig. 4.3 - Lateral direita - NW

Numa 1ª fase, será efetuada uma reabilitação do edifício existente e posteriormente uma ampliação (2ª fase). O estudo incidirá apenas na 1ª fase e visa determinar o desempenho térmico com as soluções iniciais previstas no projeto de arquitetura e, sempre que essas soluções não cumpram disposições regulamentares, analisar o desempenho com soluções que cumpram as exigências em vigor.

Serão efetuadas comparações das soluções definidas em projeto e das soluções regulamentares, com respetiva análise dos resultados obtidos.

4.1.1 Descrição da fração

A primeira fase consiste na reabilitação do edifício existente que irá ser de tipologia T3. É constituído por dois pisos: o piso térreo (RCH) que engloba uma sala e cozinha em espaço aberto, e o piso 1 que engloba dois quartos, uma sala em espaço aberto para o corredor e duas casas-de-banho.

A habitação tem três frentes, sendo que a parte de tardoza está enterrada. A fachada principal do edifício está orientada a Nordeste. A cobertura da parte ampliada será inclinada e a cobertura existente é constituída por um telhado de três águas. Os envidraçados estão orientados a Noroeste e a Nordeste.

Está definido um sistema de aquecimento ambiente através de uma caldeira elétrica e painéis. O aquecimento de águas quentes sanitárias será efetuado através da mesma caldeira elétrica e um depósito acumulador com serpentina.

As plantas e alçados da habitação são apresentados nas figuras seguintes (Fig. 4.4 e Fig. 4.5).

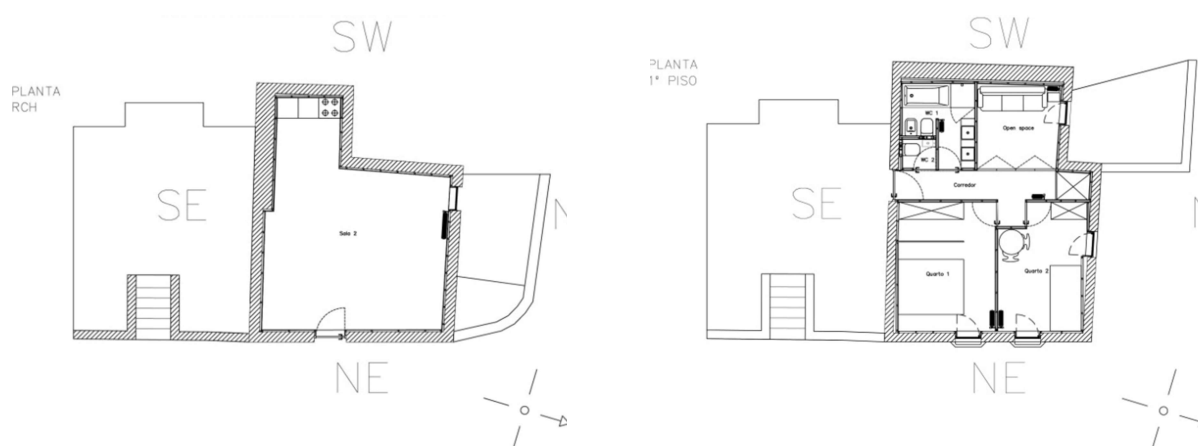


Fig. 4.4 - Plantas da fase 1

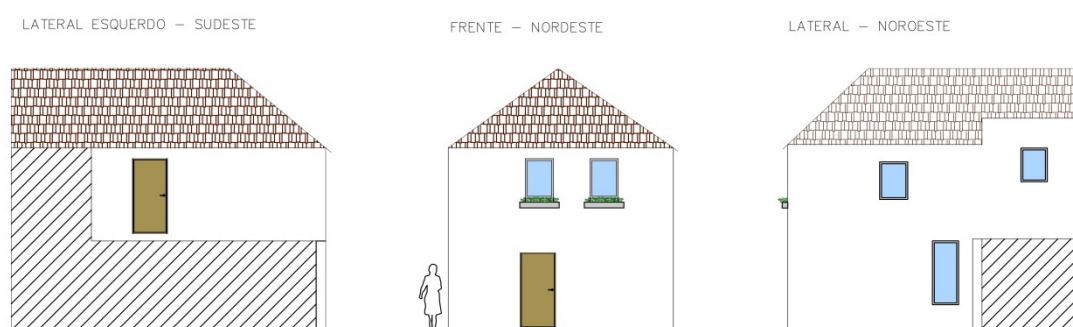


Fig. 4.5 - Alçados da fase 1

4.1.2 Dados climáticos

Para a obtenção dos dados climáticos do local foi utilizada a folha de cálculo produzida pelo LNEG para a ADENE, Agência de Energia, e consultado o respetivo relatório. Obteve-se os seguintes resultados, que se encontram na Fig. 4.6:

A habitação situa-se na região NUTS 3: Tâmega, a uma altitude de 334 m

Os dados necessários para o estudo da estação de **aquecimento** são:

Duração da estação, M: 6,7 meses;

Nº de graus-dias de aquec., GD: 1592 °C.dia;

Zona climática: **I2 (1300 <GD ≤ 1800)**

Os dados necessários para o estudo da estação de **arrefecimento** são:

Temperatura exterior média: 21,4 °C;

Energia solar acumulada, Isol:

I _{sol} REF					
kWh/m² (acumulado Junho a Setembro)					
0°	90° NE	90° SE	90° S	90° SW	90° NW
800	350	490	425	490	350

Zona climática: **V2 (20 <θ_{ext,v} ≤ 22)**

Zona climática	
NUTS 3: Tâmega	
Latitude:	41,2 °N (nominal)
Longitude:	8,2 °W (nominal)
Altitude:	320 m (referência)

Local específico	
Município:	Baião
Altitude:	334 m

Dados climáticos		
	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	6,7	6,7 meses
T média:	7,8	7,7 °C
Graus-dia:	1570	1592 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	21,4	21,4 °C

Zonas de verão e inverno	
V 2	I 2

Fig. 4.6 - Dados climáticos – Folha LNEG

4.1.3 Definição da envolvente

Na habitação em estudo são considerados como espaços não úteis: o vazio sanitário fortemente ventilado (solução de *cupolex*) situado sob a sala do RCH e o desvão do telhado, ambos os espaços apresentam um coeficiente de redução de perdas, btr, igual a 1,0, por serem locais fortemente ventilados.

Assim, o pavimento que separa o vazio sanitário do espaço útil da fração define-se como envolvente interior com requisitos de exterior, uma vez que o btr é superior a 0,7, bem como o teto que separa o desvão do telhado.

Pode-se verificar, de seguida, a envolvente térmica desta habitação nas plantas e cortes representados na Fig. 4.7.

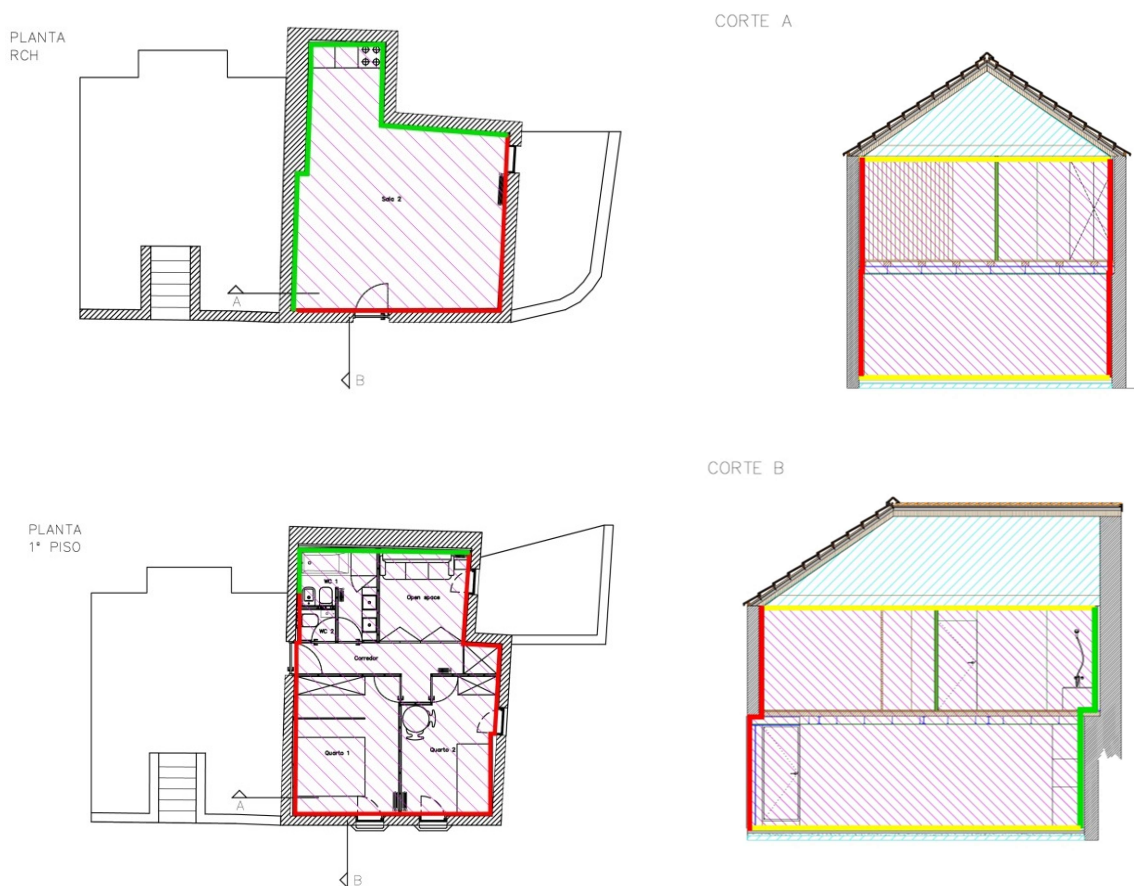


Fig. 4.7 – Envolvente térmica nas plantas RCH e piso 1 e cortes A e B

LEGENDA:

- | | |
|--|---|
| — Envolvente exterior | Espaço útil |
| — Envolvente interior com requisitos de exterior ($btr > 0,7$) | Espaço não útil |
| — Envolvente em contacto com o solo | |

4.1.4 Verificação de requisitos e aplicação de soluções construtivas

Efetua-se, de seguida, uma descrição das soluções construtivas da envolvente com a respetiva verificação dos requisitos de qualidade térmica e a aplicações de correção nas soluções, por forma a cumprir as exigências regulamentares sempre que necessário (coeficientes de transmissão térmica, U , e fator solar dos envidraçados).

ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA

➤ PAREDES EM CONTACTO COM O EXTERIOR

Solução proposta para as paredes em contacto com o exterior (Fig. 4.8 e Tabela 4.1):

- Pedra de granito com 25 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 2,8 (W/m.°C);
- Poliestireno extrudido - XPS ($\rho = 25/40\text{Kg/m}^3$), colocado pelo interior, com 4 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 (W/m.°C);
- Gesso Cartonado ($\rho = 750/1000\text{Kg/m}^3$) com 1,3 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 (W/m.°C).

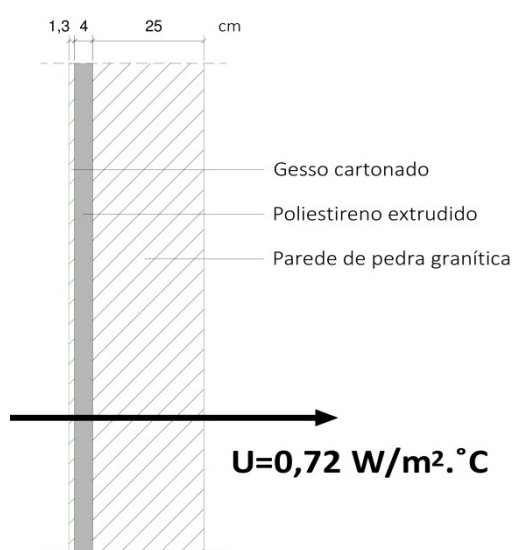


Fig. 4.8 - Solução construtiva das paredes em contacto com o exterior

Tabela 4.1 - Cálculo do U das paredes em contacto com o exterior

PAREDE EM CONTACTO COM O EXTERIOR

$$R = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,25}{2,8} + 0,04 = 1,39 \text{ m}^2.\text{°C/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,39} = 0,72 \text{ W/m}^2.\text{°C} \quad > \quad U_{\text{máx}} = 0,40 \text{ W/m}^2.\text{°C} - \text{Não verifica!}$$

Para a solução ser regulamentar foi necessário o aumento da espessura do isolamento térmico para 9cm, ver Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Cálculo do U da solução regulamentar - paredes em contacto com o exterior

SOLUÇÃO REGULAMENTAR - PAREDE EM CONTACTO COM O EXTERIOR

$$R = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,09}{0,037} + \frac{0,25}{2,8} + 0,04 = 2,73 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,73} = 0,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} < U_{\text{máx}} = 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ OK!}$$

➤ PAVIMENTO EM CONTACTO COM ENU

O pavimento em contacto com o espaço não útil é constituído por (Fig. 4.9 e Tabela 4.3):

- Camada de betão armado com 5 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 (W/m.°C);
- Poliestireno Extrudido - XPS ($\rho = 25/40 \text{ Kg/m}^3$) com 6 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 (W/m.°C);
- Tela asfáltica;
- Camada de betão com 2 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 (W/m.°C).

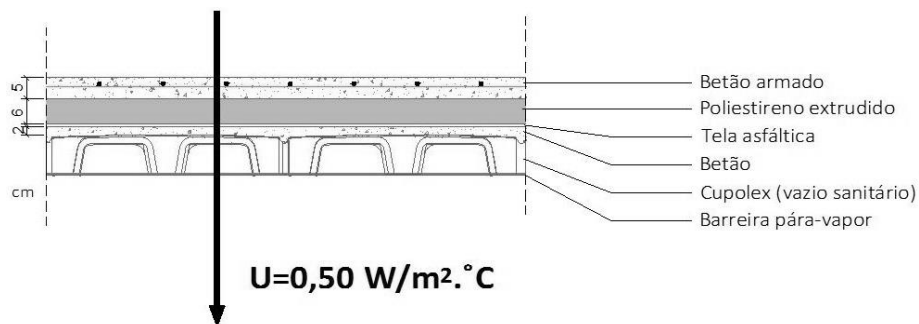


Fig. 4.9 - Solução construtiva do pavimento em contacto com ENU

Tabela 4.3 - Cálculo do U do pavimento em contacto com ENU

PAVIMENTO EM CONTACTO COM ENU

$$R = 0,17 + \frac{0,05}{2,0} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,02}{2,0} + 0,17 = 2,00 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,00} = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} > U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} - \text{Não verifica!}$$

Para a solução ser regulamentar foi necessário o aumento da espessura do isolamento térmico para 10cm, ver Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Cálculo do U da solução regulamentar - pavimento em contacto com ENU

SOLUÇÃO REGULAMENTAR - PAVIMENTO EM CONTACTO COM ENU	
$R = 0,17 + \frac{0,05}{2,0} + \frac{0,10}{0,037} + \frac{0,02}{2,0} + 0,17 = 3,08 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$	
$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{3,08} = 0,32 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$< U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ OK!}$

➤ COBERTURA EM CONTACTO COM ENU

A cobertura em contacto com o espaço não útil é constituída por um teto falso estanke (Fig. 4.10 e Tabela 4.5):

- Gesso Cartonado ($\rho = 750/1000 \text{ Kg/m}^3$) com 1,3 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$).

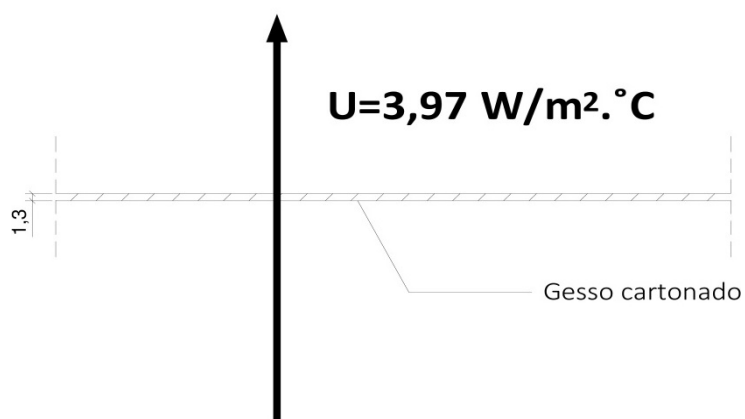


Fig. 4.10 - Solução construtiva da cobertura em contacto com ENU

Tabela 4.5 - Cálculo do U da cobertura em contacto com ENU

COBERTURA EM CONTACTO COM ENU			
$R = 0,10 + \frac{0,013}{0,25} + 0,10 = 0,25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$			
$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,25} = 3,97 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$			
	>>>	Umáx =	0,35 W/m ² ·°C - Não verifica!

Para a solução ser regulamentar foi necessário proceder à colocação de poliestireno extrudido - XPS ($\rho=25/40 \text{ Kg/m}^3$) com 10 cm, coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 (W/m.°C), sobre o gesso cartonado, ver Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Cálculo do U da solução regulamentar - cobertura em contacto com ENU

SOLUÇÃO REGULAMENTAR - COBERTURA EM CONTACTO COM ENU			
$R = 0,10 + \frac{0,1}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,10 = 2,95 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$			
$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,95} = 0,34 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$			
	<	Umáx =	0,35 W/m OK!

➤ PAREDE EM CONTACTO COM O SOLO (SEM REQUISITOS)

As paredes em contacto com o solo são constituídas por (Fig. 4.11 e Tabela 4.7):

- Pedra granito com 25 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 2,8 (W/m.°C);
- Tela asfáltica;
- Argamassa de impermeabilização e regularização;
- Poliestireno extrudido - XPS ($\rho=25/40\text{Kg/m}^3$), colocado pelo interior, com 4 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 (W/m.°C);
- Gesso Cartonado ($\rho=750/1000\text{Kg/m}^3$) com 1,3 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 (W/m.°C).

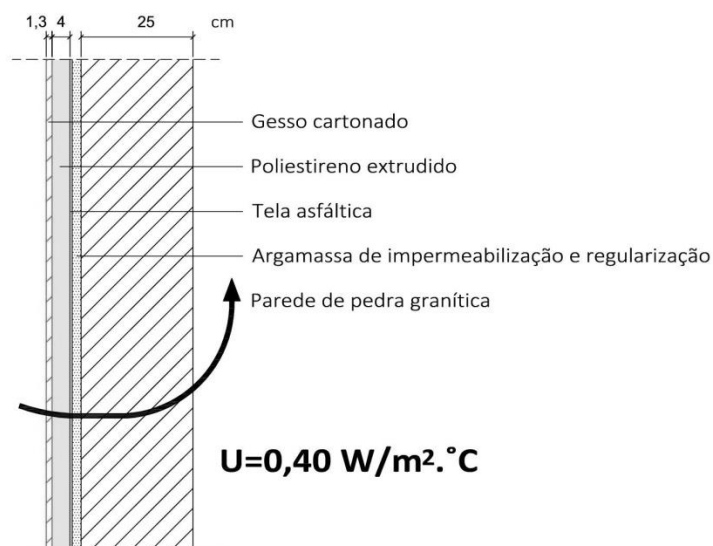


Fig. 4.11 - Solução construtiva da parede em contacto com o solo

Tabela 4.7 - Cálculo do U da parede em contacto com o solo

PAREDE EM CONTACTO COM O SOLO

$$R_w = \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,25}{2,8} = 1,22 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$U_{bw} = 0,44 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

O valor de U_{bw} resulta da consulta da Tabela 06 do Despacho 15793-K/3013, ver Fig. 3.12, considerando $z=2,2 \text{ m}$ e R_w calculado acima, admitindo todas as camadas e não contabilizando as resistências térmicas superficiais.

➤ PAVIMENTO EM CONTACTO COM O SOLO (SEM REQUISITOS)

O pavimento em contacto com o solo é constituído por (Fig. 4.12 e Tabela 4.8):

- Pavimento de madeira com 4 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de $0,15 \text{ (W/m} \cdot ^\circ\text{C)}$;
- Camada de betão armado com 5 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de $2,0 \text{ (W/m} \cdot ^\circ\text{C)}$;
- Poliestireno Extrudido - XPS ($\rho = 25/40 \text{ Kg/m}^3$) com 6 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ (W/m} \cdot ^\circ\text{C)}$;
- Tela asfáltica;

— Camada de betão com 2 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 (W/m.°C).

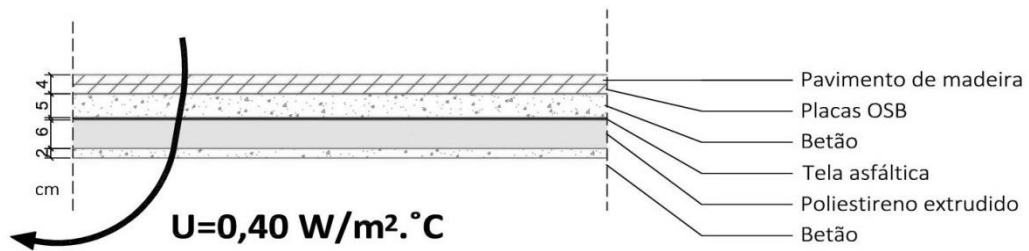


Fig. 4.12 - Solução construtiva do pavimento em contacto com o solo

Tabela 4.8 - Cálculo do U da parede em contacto com o solo

PAVIMENTO EM CONTACTO COM O SOLO

$$R_f = \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,07}{2,0} + \frac{0,06}{0,037} = 1,91 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$U_{bf} = 0,34 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

O valor de U_{bf} resulta da consulta da Tabela 03 do Despacho 15793-K/3013, ver Fig. 3.12, considerando $B'=1,2$, $z=0$ e R_f calculado acima.

VÃOS OPACOS EXTERIORES (SEM REQUISITOS)

➤ **PORTAS DE ENTRADA:**

As portas de entrada são constituídas por (Tabela 4.9):

— Madeira ($\rho=565/750\text{Kg/m}^3$) com 4 cm; coeficiente de condutibilidade térmica de 0,15 (W/m.°C);

Tabela 4.9 - Cálculo do U das portas de entrada

PORTAS ENTRADA

$$R = 0,13 + \frac{0,04}{0,15} + 0,04 = 0,44 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,44} = 2,29 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

As portas opacas não têm requisitos de qualidade térmica.

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES➤ COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

Os envidraçados são constituídos por: vidro duplo com espessura de lâmina de ar de 16 mm; caixilharia metálica com corte térmico; cortina interior opaca (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 - Cálculo do U dos envidraçados

ENVIDRAÇADOS EXTERIORES

$$U_{\text{wdn}} = 2,9 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} > U_{\text{máx}} = 2,40 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ Não verifica!}$$

Para a solução estar regulamentar foi necessária a utilização de um vidro térmico do tipo *Planistar One* da *Saint-Gobain*, com um $U_{\text{wd}} = 1,0 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e um $g_{\text{vi}} = 0,38$, com a caixilharia em alumínio ($U = 3,0 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e um $\psi = 0,115 \text{ W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$), ver Tabela 4.11.

Para o cálculo do U total do envidraçado, é necessário entrar com o U da caixilharia.

Segundo a Norma NP 10077-1, o coeficiente de transmissão térmica de uma janela, sem dispositivos de proteção, pode ser determinado através da seguinte expressão:

$$U_{\text{wd}} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \psi_g}{\sum A_f + \sum A_g} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})] \quad (4.1)$$

onde:

A_g – área envidraçada da janela, [m^2], ver Fig. 4.13;

U_g – coeficiente de transmissão térmica do vidro, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

A_f – área de caixilho da janela, [m^2], ver Fig. 4.13;

U_f – coeficiente de transmissão térmica do perfil de caixilharia, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

ψ – coeficiente de transmissão térmica linear devido à ligação entre caixilho e vidro, [$W/(m \cdot ^\circ C)$];

l_g – perímetro de envidraçado visível da porta, [m].

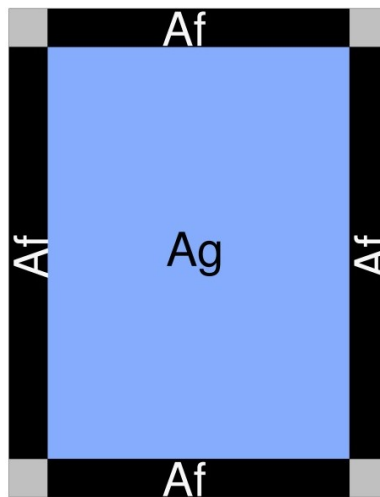


Fig. 4.13 - Esquema representativo das áreas de uma janela

Nas situações em que existam dispositivos de proteção do vão envidraçado, o valor U_{wdn} é determinado através da média entre os coeficientes de transmissão térmica do vão sem dispositivos de proteção solar (U_{wd}) e do vão com dispositivos de proteção solar (U_{wn}), conforme a Norma NP 10077-1:

$$U_{wdn} = \frac{U_{wn} + U_{wd}}{2} \quad (4.2)$$

Em que:

$$U_{wn} = \frac{1}{\frac{1}{U_{wd}} + \Delta R} \quad (4.3)$$

onde:

ΔR - Resistência térmica adicional em função do tipo de dispositivo, $[\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}]$.

O valor de ΔR do tipo de proteção solar – cortina interior opaca é igual a $0,08 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

Tabela 4.11 - Cálculo do U da solução regulamentar - envidraçados

SOLUÇÃO REGULAMENTAR - ENVIDRAÇADOS EXTERIORES				
Janela Sala RCH	0,70 x 1,70 m			
$U_{wd} = \frac{0,96 \times 1,0 + 0,22 \times 3,0 + 0,115 \times 4,4}{0,96 + 0,22} = 1,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
$U_{wn} = \frac{1}{\frac{1}{1,8} + 0,08} = 1,57 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
$U_{wdn} = \frac{1,8 + 1,57}{2} = 1,69 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
	<	$U_{\text{máx}} =$	2,40	W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C OK!}
Janela Sala openspace	0,70 x 0,90 m			
$U_{wd} = 1,97 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
$U_{wn} = 1,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
$U_{wdn} = 1,84 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
	<	$U_{\text{máx}} =$	2,40	W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C OK!}
Janelas Quarto 1 e 2 (NE)	0,75 x 1,05 m			
$U_{wd} = 1,88 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
$U_{wn} = 1,64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
$U_{wdn} = 1,76 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
	<	$U_{\text{máx}} =$	2,40	W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C OK!}
Janela Quarto 2 (NO)	0,75 x 1,00 m			
$U_{wd} = 1,90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
$U_{wn} = 1,65 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
$U_{wdn} = 1,78 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$				
	<	$U_{\text{máx}} =$	2,40	W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C OK!}

➤ FATOR SOLAR

O fator solar do vidro, $g_{\perp vi}$ é 0,75 e do vidro com cortina é 0,37. Como todos os envidraçados estão orientados no quadrante Norte, estão isentos da verificação relativa ao fator solar que influência o risco de sobreaquecimento no Verão.

4.1.5 Inércia Térmica

A classe de inércia térmica da habitação determinou-se segundo os valores de massa superficial útil dos elementos, conforme indicado na Tabela 4.12.

As paredes divisórias são em gesso cartonado, pelo que não serão consideradas para o cálculo da I_t , assim com as paredes da envolvente que são revestidas a gesso cartonado.

O pavimento intermédio será constituído por placas de OSB e revestimento de madeira.

Tabela 4.12 - Determinação da inércia térmica

ELEMENTO CONSTRUTIVO		ÁREA (m ²)	Msi	Msi, máx	r	A x Msi x r
Envolvente exterior	Paredes exteriores	58,8	-	-	-	-
	TOTAL					0,00
ELEMENTO CONSTRUTIVO		ÁREA	Msi	Msi, máx	r	A x Msi x r
Envolvente interior	Pavimento sobre vazio sanitário	30,0	130	150	0,5	1950,00
	Cobertura sob ENU	35,0	-	-	-	-
		TOTAL				1950,00
ELEMENTO CONSTRUTIVO		ÁREA	Msi	Msi, máx	r	A x Msi x r
Em contacto com o solo	Paredes enterradas	34,1	-	-	-	-
	Pavimento térreo	5,5	150	150	0,5	410,25
		TOTAL				410,25
ELEMENTO CONSTRUTIVO		ÁREA	Msi	Msi, máx	r	A x Msi x r
Compartimentação	Paredes divisórias	31,2	-	-	-	-
	Pavimento intermédio	29,5	20	300	0,5	295,30
		TOTAL				295,30

$$I_t = \frac{\sum_i Msi \times r \times A}{A_p} = \frac{2655,55}{65,0} = \boxed{40,85}$$

Classe de inércia térmica **FRACA**

Conclui-se que o edifício possui uma inércia térmica fraca.

4.1.6 Ventilação

A habitação situa-se na Região A, definida, na Norma NP 1037-1, como “a generalidade do território, exceto os locais pertencentes à zona B; Zona B: inclui os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600 m.”. Uma vez que o edifício tem menos de 10 metros e pertence à região A, todas as janelas se enquadram na classe de exposição ao vento 2, conforme definido na Norma.

Relativamente à rugosidade do solo é do tipo II: “generalidade dos restantes locais, nomeadamente zonas rurais com algum relevo e periferia de zonas urbanas; Rugosidade do tipo I: locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem os edifícios de médio e grande porte; Rugosidade do tipo III: locais situados em zonas planas sem vegetação de grande porte ou nas proximidades de extensos planos de água nas zonas rurais.” (Norma NP 1037-1).

➤ EXIGÊNCIAS DE VENTILAÇÃO

Não está definido em projeto a existência de ventilação mecânica. Assim, foi considerada apenas a ventilação que ocorre por meios naturais.

Para os dispositivos que vão assegurar a ventilação desta habitação, foram considerados os definidos na Norma NP 1037-1:

- Instalação de condutas de ventilação natural, de exaustão sem obstrução do escoamento do ar, nas casas-de-banho. No caso do WC 1 (com banheira e duche), o caudal de ar de ventilação, segundo a Norma NP 1037-1, nunca poderá ser inferior a 45 m³/h, e no WC 2 (sem banheira ou duche) nunca poderá ser inferior a 30 m³/h. No caso da cozinha, o caudal de ventilação nunca poderá ser inferior a 60 m³/h.
- Colocação de aberturas de admissão de ar na fachada, ou seja, dispositivos de comunicação direta do exterior com o interior da habitação nas caixilharias. Segundo a Norma NP 1037-1, devem ser aberturas auto-reguláveis (de secção variável), e devem assegurar caudais iguais ou superiores aos previstos para os compartimentos principais onde estão aplicadas, para a diferença de pressão de 10 Pa, ver Fig. 4.14.

Quadro 2 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais

Volume (m ³)	≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 90	> 90 ≤ 120	> 120 ≤ 150	> 150 ≤ 180	> 180 ≤ 210	> 210 ≤ 240
Caudal-tipo (l/s) (m ³ /h)	8 (30)	17 (60)	25 (90)	33 (120)	42 (150)	50 (180)	58 (210)	67 (240)

Fig. 4.14 - Quadro 2 da Norma NP 1037-1

Apresenta-se, de seguida, um esquema com os valores mínimos a aplicar nos compartimentos principais e de serviço. Uma vez que seria lógico o valor do caudal de exaustão ser igual ao de admissão, modificaram-se os valores necessários para esse efeito, conforme se verifica na Fig. 4.15 e Tabela 4.13.

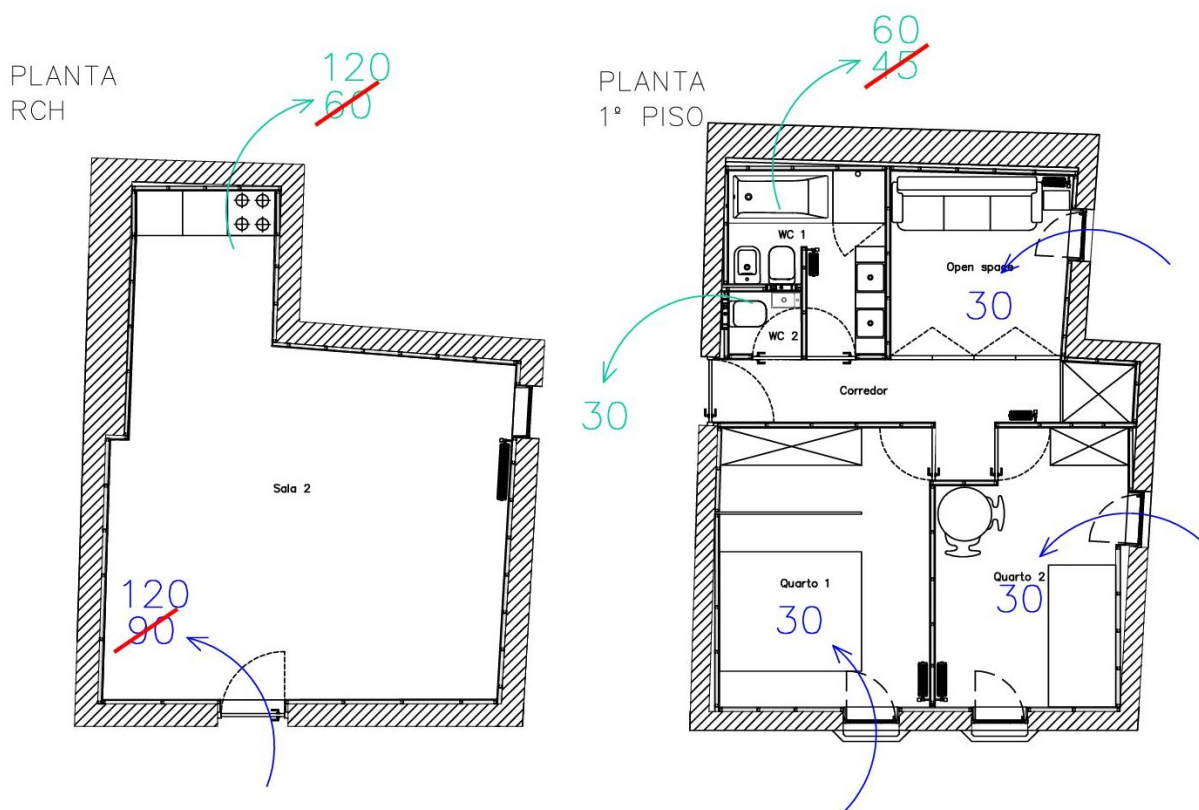


Fig. 4.15 - Caudais a extrair e a admitir nos compartimentos de serviço e principais

Tabela 4.13 – Caudais a extrair e a admitir nos compartimentos de serviço e principais

Compartimento	MÍNIMOS		A APLICAR	
	Admissão (m ³ /h)	Exaustão (m ³ /h)	Admissão (m ³ /h)	Exaustão (m ³ /h)
Sala/Cozinha (RCH)	90	60	120	120
WC c/banheiro e chuveiro	-	45	-	60
WC s/banheira ou chuveiro	-	30	-	30
Quarto 1	30	-	30	-
Quarto 2	30	-	30	-
Sala openspace	30	-	30	-
TOTAL	180	135	210	210

➤ PERMEABILIDADE AO AR DAS JANELAS E DAS PORTAS

Segundo a Norma NP 1037-1:

- A classe mínima de permeabilidade ao ar das janelas e das portas da habitação que comunicam com o exterior de acordo com a Fig. 4.16 é A2, mas foi utilizada uma classe A3 para garantir o isolamento sonoro em relação ao exterior:

Quadro 4 - Classes de permeabilidade ao ar das janelas e das portas exteriores em função da sua exposição


Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
≤10 m	A1	A2	A2	A1	A2	A2
>10 m e ≤18 m	A1	A2	A2	A1	A2	A2
>18 m e ≤28 m	A1	A2	A2	A2	A2	A2
>28 m e ≤60 m	A2	A2	A2	A2	A2	A2
>60 m e ≤80 m	A2	A2	A2	A2	A2	A3

Fig. 4.16 - Quadro 4 da Norma NP 1037-1

- As portas interiores que constituem a única ligação entre compartimentos do mesmo sector de ventilação devem possuir aberturas permanentes de forma a que mesmo quando fechadas minimizem a restrição à circulação do ar.

Para o cálculo da taxa de renovação de ar, Rph, foram utilizadas as folhas de cálculo do LNEC e os pressupostos de cálculo estão expostos na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Dados de entrada para o cálculo da ventilação

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Amando Pinto. apinto@lneec.pt Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12					
1. Enquadramento do edifício					
Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_grande_reabilitação	Área útil (m²):	65,0		
Local (município)	BAIÃO	Pd (m):	2,21		
Região	A	N.º de pisos da fração	2		
Rugosidade	II	Velocidade vento	Defeito REH		
Altitude do local (m)	334	Vento (u10REH: 3,6) (m/s)	0,00		
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais	Vol (m³):	144		
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	Exterior (°C)	7,7		
Altura do edifício (H _{edif}) em m	5	Zref (m)	320		
Altura da fração (H _{FA}) em m	5	Aenv/Au:	6%		
Altura do obstáculo situado em frente (H _{obs}) em m	18	Proteção do edifício:	Desprotegido		
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{obs}) em m	15	Zona da fachada:	Inferior		
Caudal mínimo PES (m³/h)	300	Q _{ph} mínimo (L/s (h-1))	100		
2. Permeabilidade ao ar da envolvente					
Foi medido valor n50	Não				
Valor n50 medido (h-1)					
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:					
Área dos vãos (m²)	4,15				
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	3				
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem				
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente					
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim				
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa	
Área livre das aberturas fixas (cm²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m³/h)	0	0	210	0	
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta					
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Sim	Não	Não	Não	
Escoamento de ar	Exaustão	Admissão	Infiltração	Infiltração	
Perda de carga	Baixa	Alta	Média	Média	
Altura da conduta (m)	3	0	3	3	
Cobertura	Inclinada (>30°)	Inclinada (>30°)	Inclinada (>30°)	Inclinada (>30°)	
Número de condutas semelhantes	2	3	1	1	
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado					
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não				
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m³/h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
Tem sistema de recuperação de calor					
Rendimento da recuperação de calor (%)					
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)					
Existem meios híbridos	Não				
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m³/h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
7. Verão - Recuperador de calor					
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão					

Sendo que, os resultados obtidos foram: $R_{ph,i} = 0,66 \text{ h}^{-1}$ e $R_{ph,v} = 0,66 \text{ h}^{-1}$, conforme se pode verificar na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Cálculo da solução regulamentar – ventilação

8. Resultados	
8.1 - Balanço de Energia - Edifício	
$R_{ph,i}$ (h-1) - Aquecimento	0,66
$R_{ph,v}$ (h-1) - Arrefecimento	0,66
W_{vm} (kWh)	0,0
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência	
$R_{ph,i REF}$ (h-1)	0,60
8.3 - Caudal mínimo de ventilação	
Rph estimada em condições nominais (h-1)	0,66
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40
Critério Rph mínimo	Satisfatório

A taxa de renovação de ar a utilizar será de 0,66 h-1, na situação de aquecimento e 0,66 h-1 na de arrefecimento.

4.1.7 Equipamentos

O sistema de aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS) e aquecimento ambiente será feito através de uma caldeira elétrica.

Não está projetado nenhum sistema de arrefecimento, nem a utilização de painéis solares térmicos.

A instalação de sistemas solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias é obrigatória sempre que haja exposição solar adequada, será então necessário efetuar essa verificação. Apresenta-se de seguida, Fig. 4.17, um esquema de sombreamentos na cobertura da habitação.

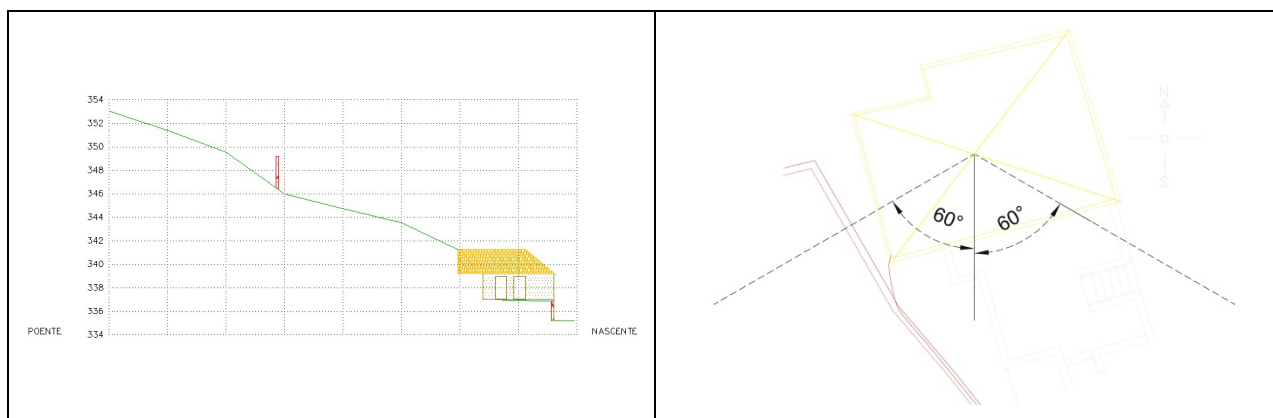


Fig. 4.17 - Sombreamentos da habitação

Conclui-se que, com a existência do muro de tardoz da habitação, não se justifica a instalação de painéis solares.

4.1.8 Necessidades nominais de energia - Solução projetada

Serão agora calculadas e verificadas as necessidades nominais de energia, com as soluções definidas em projeto. Apresenta-se um resumo dessas soluções na tabela seguinte.

Tabela 4.16 - Soluções definidas em projeto de arquitetura

ELEMENTO	U		
Paredes em contacto com o exterior	0,72		
Pavimento em contacto com ENU	0,50		
Cobertura em contacto com ENU	3,97		
Parede em contacto com o solo	0,44		
Pavimento em contacto com o solo	0,34		
Portas de entrada	2,29	g_{vi}	g_{Tvc}
Vãos envidraçados	2,90	0,75	0,37
INERCIA TÉRMICA	Frac		
VENTILAÇÃO	Natural		
EQUIPAMENTOS			
Produção de AQS	Caldeira elétrica		
Produção de calor			

4.1.8.1 Necessidades nominais anuais de energia útil para Aquecimento, Nic

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são calculadas conforme apresentado na equação (3.8).

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, $Q_{tr,i}$

A transferência de calor por transmissão através da envolvente é calculada conforme apresentado na equação (3.9).

Das parcelas da equação (3.31), $H_{tr,i}$, apenas entram as perdas pela envolvente exterior (H_{ext} – eq. (3.33)), pela envolvente interior (H_{enu} – eq. (3.34)) e envolvente em contacto com o solo (H_{ecs} – eq. (3.35)). Não existindo edifícios adjacentes, pelo que H_{adj} é nulo.

➤ COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, H_{ext} :

Tabela 4.17 - Cálculo do H_{ext}

		ÁREA	U	A.U
Envolvente exterior	Porta entrada	1,60	2,29	3,66
	Porta entrada	1,80	2,29	4,12
	Paredes	58,78	0,72	42,32
	TOTAL	62,18		50,11
Envidraçados		4,15	2,9	12,04
	TOTAL	4,15		12,04

	Tipo de ligação	B	ψ	B. ψ
Pontes térmicas lineares	Fachada com pavimento intermédio	51,00	0,6	30,60
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,23	0,1	0,22
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,1	0,22
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,1	0,22
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,1	0,22
	Fachada com caixilharia	3,10	0,1	0,31
	Fachada com caixilharia	3,50	0,1	0,35
	Fachada com caixilharia	4,80	0,1	0,48
	Fachada com caixilharia	3,60	0,1	0,36
	Fachada com caixilharia	3,60	0,1	0,36
	Fachada com pavimento sobre ENU	24,59	0,1	2,46
	Fachada com cobertura	26,58	0,17	4,52
TOTAL				40,32

$$H_{ext} = 50,11 + 12,04 + 40,32 = \boxed{102,46} \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

- COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO ÚTEIS, HENU:

Apresenta-se na Tabela 4.18 o cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com espaços não úteis.

Tabela 4.18 - Cálculo do Henu

		ÁREA	U	btr	A.U.btr
Vazio sanitário - cupolex	Pavimento em contacto com o cupolex	30,00	0,5	1	15,00
Desvão do telhado	Cobertura em contacto com desvão	35,00	3,97	1	138,95
TOTAL		65,00			153,95

$$Henu = \boxed{153,95} \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

- COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DE ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO, HECS:

Apresenta-se na Tabela 4.19 o cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo.

Tabela 4.19 - Cálculo do Heccs

		A	Uf	A x Uf
Pavimentos térreos	Piso 1	5,47	0,4	2,19
	TOTAL	5,47		2,19

		A	Ubw	A x Ubw
Paredes enterradas	RCH	22,23	0,4	8,89
	Piso 1	11,86	0,4	4,74
	TOTAL	11,86		13,64

$$Heccs = 2,19 + 13,64 = \boxed{15,82} \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

Após os cálculos anteriores, conclui-se que o valor do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $H_{tr,i}$ é igual a 272,24 W/°C, e que o valor da transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $Q_{tr,i}$ é igual a 10401,65 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 - Cálculo do $Q_{tr,i}$ **TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO - AQUECIMENTO**

$$H_{tr,i} = 102,46 + 153,95 + 15,82 = 272,24 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times 1592 \times 272,24 = 10401,65 \text{ kWh}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR, $Q_{ve,i}$

A transferência de calor por renovação do ar é calculada conforme apresentado na equação (3.10).

O valor do coeficiente global de transferência de calor por renovação de ar na estação de aquecimento, $H_{ve,i}$, eq. (3.11), é igual a 32,24 W/°C, e o valor da transferência de calor por renovação de ar na estação de aquecimento, $Q_{ve,i}$ é igual a 1231,64 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 - Cálculo do $Q_{ve,i}$ **TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR - AQUECIMENTO**

$$H_{ve,i} = 0,34 \times 0,66 \times 65,0 \times 2,21 = 32,24 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times 1592 \times 32,24 = 1231,64 \text{ kWh}$$

O pé-direito considerado para o cálculo do $H_{ve,i}$ é o pé-direito médio da habitação, contabilizado em 2,21m.

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS, $Q_{gu,i}$

Os ganhos térmicos úteis são calculados conforme apresentado na equação (3.12) e são obtidos através dos ganhos térmicos brutos ($Q_{g,i}$ – eq. (3.13)), que resulta dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor ($Q_{int,i}$) e dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados ($Q_{sol,i}$).

➤ GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS A FONTES INTERNAS DE CALOR, $Q_{INT,i}$:

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor são calculados conforme apresentado na equação (3.14).

Tabela 4.22 - Cálculo do $Q_{INT,i}$ **GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS A FONTES INTERNAS DE CALOR**

$$Q_{INT,i} = 0,72 \times 4 \times 6,7 \times 65,0 = 1254,24 \text{ kWh}$$

➤ GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS AO APROVEITAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR PELOS VÃOS ENVIDRAÇADOS, $Q_{SOL,i}$:

Os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados são calculados conforme indicado na equação (3.15) e o seu cálculo é apresentado na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 - Cálculo do $Q_{SOL,i}$

ENVIDRAÇADO	Orientação	g_i	A_w	$F_{s,i}$	F_g	$A_{s,i}$	X	$X.A_{s,i}$
Sala RCH	NO	0,675	1,20	0,9	0,7	0,5	0,33	0,17
Sala openspace	NO	0,675	0,60	0,9	0,7	0,3	0,33	0,08
Quarto 1	NE	0,675	0,80	0,9	0,7	0,3	0,33	0,11
Quarto 2	NE	0,675	0,80	0,9	0,7	0,3	0,33	0,11
Quarto 2	NO	0,675	0,75	0,9	0,7	0,3	0,33	0,11
TOTAL								0,58

$$Q_{SOL,i} = 135 \times 0,58 \times 6,7 = \boxed{526,76} \text{ kWh}$$

O valor dos ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, $Q_{gu,i}$ é igual a 1729,28 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.24.

Tabela 4.24 - Cálculo do $Q_{g,i}$ **GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS**

$$Q_{g,i} = 1254,24 + 526,76 = 1781,00 \text{ kWh}$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} = \frac{1781,00}{10401,65 + 1231,64} = 0,15 \rightarrow \eta = \frac{1 - 0,15^{1,8}}{1 - 0,15^{1,8+1}} = 0,97$$

$$Q_{gu,i} = 0,97 \times 1781,00 = 1729,28 \text{ kWh}$$

Conclui-se que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é igual a 152,37 kWh/m².ano, conforme se verifica na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 - Cálculo do N_{ic} **NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO**

$$N_{ic} = (10401,65 + 1231,64 - 1729,28)/65,0 = 152,37 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$$

4.1.8.2 Valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para Aquecimento, N_i

O valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é calculado conforme indicado na equação (3.1).

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, $Q_{TR,I_{REF}}$

➤ COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, $H_{EXT,I_{REF}}$:

O cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência é apresentado na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 - Cálculo do $H_{ext,ref}$

		ÁREA	U_{ref}	$A \cdot U_{ref}$
Envolvente exterior	Porta entrada	1,60	0,4	0,64
	Porta entrada	1,80	0,4	0,72
	Paredes	58,78	0,4	23,51
	TOTAL	62,18		24,87
Envidraçados		4,15	2,4	9,96
	TOTAL	4,15		9,96

	Tipo de ligação	B	ψ_{ref}	$B \cdot \psi_{ref}$
Pontes térmicas lineares	Fachada com pavimento intermédio	51,00	0,5	25,50
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,23	0,4	0,89
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,4	0,88
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,4	0,88
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,4	0,88
	Fachada com caixilharia	3,10	0,2	0,62
	Fachada com caixilharia	3,50	0,2	0,70
	Fachada com caixilharia	4,80	0,2	0,96
	Fachada com caixilharia	3,60	0,2	0,72
	Fachada com caixilharia	3,60	0,2	0,72
	Fachada com pavimento sobre ENU	24,59	0,5	12,30
	Fachada com cobertura	26,58	0,5	13,29
	TOTAL			58,34

$$H_{ext,ref} = 24,87 + 9,96 + 58,34 = \boxed{93,17} \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

- COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO ÚTEIS, $H_{ENU,REF}$:

O cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com espaços não úteis de referência é apresentado na Tabela 4.27.

Tabela 4.27 - Cálculo do $H_{enu,ref}$

		ÁREA	U_{ref}	btr	$A \cdot U_{ref} \cdot btr$
Vazio sanitário - cupolex	Pavimento em contacto com o cupolex	30,00	0,35	1	10,50
Desvão do telhado	Cobertura em contacto com desvão	35,00	0,35	1	12,25
TOTAL		35,00			22,75

$$H_{enu,ref} = 22,75 = \boxed{22,75} \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

- COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DE ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO, $H_{ECS,REF}$:

O cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo de referência é apresentado na Tabela 4.28.

Tabela 4.28 - Cálculo do $H_{cs,ref}$

		A	$U_{f,ref}$	$A \times U_{f,ref}$
Pavimentos térreos	Piso 1	5,47	0,5	2,74
	TOTAL	5,47		2,74

		A	$U_{bw,ref}$	$A \times U_{bw,ref}$
Paredes enterradas	RCH	22,23	0,5	11,12
	Piso 1	11,86	0,5	5,93
	TOTAL	11,86		17,05

$$H_{cs,ref} = 2,74 + 17,05 = \boxed{19,78} \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

Após os cálculos anteriores, conclui-se que o valor do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $H_{tr,i,ref}$ é igual a 135,70 W/°C, e que o valor da transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $Q_{tr,i,ref}$ é igual a 5184,79 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.29.

Tabela 4.29 - Cálculo do $Q_{tr,i,ref}$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO - AQUECIMENTO

$$H_{tr,i,ref} = 93,17 + 22,75 + 19,78 = 135,70 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{tr,i,ref} = 0,024 \times 1592 \times 135,70 = 5184,79 \text{ kWh}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR, $Q_{ve,i,ref}$

O valor do coeficiente global de transferência de calor por renovação de ar na estação de aquecimento, $H_{ve,i,ref}$ é igual a 29,30 W/°C, e o valor da transferência de calor por renovação de ar na estação de aquecimento, $Q_{ve,i,ref}$ é igual a 1119,67 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.30.

Foi calculado considerando um R_{ph} de referência de 0,60 h⁻¹, uma vez que o valor de cálculo da folha do LNEC é superior a 0,60 h⁻¹.

Tabela 4.30 - Cálculo do $Q_{ve,i_{ref}}$ **TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR - AQUECIMENTO**

$$H_{ve,i_{ref}} = 0,34 \times 0,60 \times 65,0 \times 2,21 = 29,30 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{ve,i_{ref}} = 0,024 \times 1592 \times 29,30 = 1119,67 \text{ kWh}$$

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS, $Q_{GU,I_{REF}}$ ➤ GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS A FONTES INTERNAS DE CALOR, $Q_{INT,I_{REF}}$:

O cálculo dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor de referência é apresentado na Tabela 4.32.

Tabela 4.31 - Cálculo do $Q_{int,i_{ref}} = Q_{int,i}$ **GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS A FONTES INTERNAS DE CALOR**

$$Q_{int,i} = 0,72 \times 4 \times 6,7 \times 65,0 = 1254,24 \text{ kWh}$$

➤ GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS AO APROVEITAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR PELOS VÃOS ENVIDRAÇADOS, $Q_{SOL,I}$:

O cálculo dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos envidraçados de referência é apresentado na Tabela 4.32.

Tabela 4.32 - Cálculo do $Q_{sol,i_{ref}}$ **GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS AO APROVEITAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR**

$$Q_{sol,i_{ref}} = 135 \times 0,182 \times 0,20 \times 65 \times 6,7 = 2140,05 \text{ kWh}$$

O valor dos ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, $Q_{gu,i}$ é igual a 2036,57 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.33.

Tabela 4.33 - Cálculo do $Q_{gu,i_{ref}}$

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS
$Q_{g,i_{ref}} = 1254,24 + 2140,05 = 3394,29 \text{ kWh}$
$Q_{gu,i_{ref}} = 0,60 \times 3394,29 = 2036,57 \text{ kWh}$

Conclui-se que o valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é igual a 65,66 kWh/m².ano, conforme se verifica na Tabela 4.34.

Tabela 4.34 - Cálculo do N_i e verificação

VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO			
$N_i = \frac{5184,79 + 1119,67 - 2036,57}{65,0} = 65,66 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$			
$N_{ic} = 149,80$	>	N_i (limite máximo)	Não verifica!

4.1.8.3 Necessidades nominais anuais de energia útil para Arrefecimento, N_{vc}

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento são calculadas segundo a equação (3.18).

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, $Q_{tr,v}$

A transferência de calor por transmissão através da envolvente é calculada segundo a equação (3.19).

As transferências por transmissão através da envolvente exterior (H_{ext}), interior (H_{enu}) e em contacto com o solo (H_{ecs}) calculam-se da mesma forma que já foi referida para a Estação de Aquecimento.

Sendo assim, apresenta-se de seguida (Tabela 4.35), o cálculo direto do $Q_{tr,v}$.

Tabela 4.35 - Cálculo do $Q_{tr,v}$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO - ARREFECIMENTO

$$H_{tr,v} = 102,46 + 153,95 + 15,82 = 272,24 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{tr,v} = 272,24 \times (25 - 21,4) \times 2,928 = 2869,60 \text{ kWh}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DE AR, $Q_{ve,v}$

A transferência de calor por renovação de ar é calculada conforme apresentado na equação (3.20).

O valor do coeficiente global de transferência de calor por renovação de ar na estação de arrefecimento, $H_{ve,v}$ é igual a $32,24 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$, e o valor de transferência de calor por renovação de ar na estação de arrefecimento, $Q_{ve,v}$ é igual a $339,78 \text{ kWh}$, conforme se verifica na Tabela 4.36.

Tabela 4.36 - Cálculo do $Q_{ve,v}$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR - ARREFECIMENTO

$$H_{ve,v} = 0,34 \times 0,66 \times 65,0 \times 2,21 = 32,24 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{ve,v} = 32,24 \times (25 - 21,4) \times 2,928 = 339,78 \text{ kWh}$$

GANHOS TÉRMICOS, $Q_{G,v}$

Equação (3.22) que resulta dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor ($Q_{int,v}$ – eq.(3.23)), ver Tabela 4.37, e dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada ($Q_{sol,v}$ – eq.(3.24)), ver Tabela 4.38.

Tabela 4.37 - Cálculo do $Q_{int,v}$ **GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS A FONTES INTERNAS DE CALOR**

$$Q_{int,v} = 4 \times 65,0 \times 2,928 = 761,30 \text{ kWh}$$

O edifício irá manter as paredes exteriores em pedra de granito, pelo que foi considerada a cor clara com um coeficiente de absorção, α , de 0,4.

As portas (vãos opacos) exteriores, também assumem um α de 0,4, uma vez que estão definidos em projeto serem de cor clara. O mesmo acontece com a cobertura interior.

“No caso de coberturas em desvão e para além do coeficiente de absorção, deve ser tido em conta o fator que exprime o efeito da emissividade da face interior desta e do grau de ventilação do desvão, com base na Tabela 10.” (Despacho nº 15793-K/2013), ver Fig. 3.14. Para um desvão fortemente ventilado e uma emissividade baixa, o fator corresponde a 0,7.

Tabela 4.38 - Cálculo do $Q_{sol,v}$

ENVIDRAÇADO	Orientação	Aw	Tipo de vidro	Fg	Fw,v	Fm,v	gT	gTp	gv	As,v	Fs,v	Isol	Isol.Fs,v.As,v
Sala RCH	NO	1,20	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,37	0,64	0,53	0,45	0,90	350	140,37
Sala openspace	NO	0,60	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,37	0,64	0,53	0,22	0,90	350	70,19
Quarto 1	NE	0,80	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,37	0,64	0,53	0,30	0,90	350	93,58
Quarto 2	NE	0,80	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,37	0,64	0,53	0,30	0,90	350	93,58
Quarto 2	NO	0,75	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,37	0,64	0,53	0,28	0,90	350	87,73
TOTAL													485,45

PAREDE EXTERIOR	Orientação	α	Aop	U	Rse	As,v	Fs,v	Isol	Isol.Fs.As
1	NO	0,40	10,3	0,72	0,04	0,12	1,00	350	41,36
2	NE	0,40	12,0	0,72	0,04	0,14	1,00	350	48,55
3	NO	0,40	5,5	0,72	0,04	0,06	1,00	350	22,18
4	SO	0,40	2,2	0,72	0,04	0,03	1,00	490	12,42
5	NO	0,40	8,6	0,72	0,04	0,10	1,00	350	34,86
6	NE	0,40	8,8	0,72	0,04	0,10	1,00	350	35,48
7	SE	0,40	8,4	0,72	0,04	0,10	1,00	490	47,46
8	SE	0,40	2,9	0,72	0,04	0,03	0,84	490	13,87
TOTAL									256,19

COBERTURA INTERIOR	Orientação	α * Fator	Aop	U	Rse	As	Fs	Isol	Isol.Fs.As
1	Horizontal	0,28	35,00	3,97	0,04	1,56	1,00	800	1244,99
TOTAL									1244,99

VÃOS OPACOS EXTERIORES	Orientação	α	Aop	U	Rse	As	Fs	Isol	Isol.Fs.As
1	NE	0,40	1,80	2,29	0,04	0,07	0,90	350	20,77
2	SE	0,40	1,60	2,29	0,04	0,06	0,84	490	24,13
TOTAL									44,90

$$Q_{sol,v} = 447,66 + 256,19 + 1778,56 + 44,90 = \boxed{2031,53} \text{ kWh}$$

O valor dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento, $Q_{g,v}$ é igual a 2792,81 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.39.

Tabela 4.39 - Cálculo do $Q_{g,v}$ **GANHOS TÉRMICOS**

$$Q_{g,v} = 761,30 + 2031,53 = 2792,81 \text{ kWh}$$

Conclui-se que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento é igual a 13,47 kWh/m².ano, conforme se verifica na Tabela 4.40.

Tabela 4.40 - Cálculo do N_{vc} **NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO**

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} = \frac{2792,81}{2869,60 + 339,78} = 0,87 \rightarrow \eta = \frac{1 - 0,87^{1,8}}{1 - 0,87^{1,8+1}} = 0,69$$

$$N_{vc} = (1 - 0,69) \times \frac{2792,81}{65,0} = 13,47 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$$

4.1.8.4 Valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para Arrefecimento, N_v

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, calculado conforme a equação (3.2), depende dos ganhos térmicos de referencia ($Q_{g,vref}$ – eq. (3.4)) e do fator de utilização dos ganhos de referencia (η_{vref} – eq. (3.3)), e é igual a 10,59 kWh/m².ano, conforme se verifica na Tabela 4.41.

Tabela 4.41 - Cálculo do Nv e verificação

VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$Q_{g, \text{vref}} = [4 \times 2,928 + 0,43 \times 0,20 \times 485] \times 65,0 = 3472,43 \text{ kWh}$$

$$\eta_{\text{ref}} = 0,52 + 0,22 \times \ln(25 - 21,4) = 0,80$$

$$N_v = (1 - 0,80) \times 3472,43 / 65,0 = 10,59 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

N_{vc} = 13,47 > **N_v (limite máximo)** Não verifica!

4.1.8.5 Necessidades nominais anuais de energia primária, N_{tc}

As necessidades nominais anuais de energia primária são calculadas conforme explicado na equação (3.27).

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO:

As necessidades nominais de energia primária foram determinadas de acordo com as necessidades de energia já calculadas, bem como das características dos equipamentos definidos.

A classe de eficiência energética, η , é a correspondente à classe mínima para termoacumuladores elétricos uma vez que é um sistema que serve também para a preparação de AQS e não está definido na Portaria 349-B/2013 a classe mínima para caldeira elétricas.

Apresenta-se de seguida, Fig. 4.18, a Tabela I.17 e I.18 da Portaria 349-B/2013 que definem os valores referidos acima.

TABELA I.17

Valores limite de perdas estáticas em termoacumuladores Q_{pr} [kWh/24h]

Volume V [l]	Dispersão Térmica Q_{pr} [kWh/24h]
$V \leq 200$ l	$Q_{pr} \leq (21 + 10,33 \cdot V^{0,4}) \cdot 24/1000$
$200 < V \leq 500$ l	$Q_{pr} \leq (26 + 13,66 \cdot V^{0,4}) \cdot 24/1000$
$500 < V \leq 1000$ l	$Q_{pr} \leq (31 + 16,66 \cdot V^{0,4}) \cdot 24/1000$
$1000 < V \leq 2000$ l	$Q_{pr} \leq (38 + 16,66 \cdot V^{0,4}) \cdot 24/1000$

TABELA I.18

Valores de eficiência de termoacumuladores em função de Q_{pr}

Intervalos de Q_{pr} [kWh/24h]	Eficiência
$Q_{pr} < 1$	0,97
$1 \leq Q_{pr} < 1,5$	0,95
$Q_{pr} \geq 1,5$	0,93

Fig. 4.18 - Tabela I.17 e I.18 da Portaria 349-B/2013

Definiu-se um termoacumulador de 200 L, portanto $Q_{pr} \geq 1,5$, então a eficiência do sistema é de 0,93.

O cálculo das necessidades nominais de energia primária para aquecimento é apresentado na Tabela 4.42.

Tabela 4.42 - Cálculo do Ntc para aquecimento

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO						
Sistema para aquecimento	Fonte de Energia	Nic	fi	η_i	Fpu,i	$fi \times Nic \times Fpu,i / \eta_i$
Caldeira (Classe D)	Eletricidade	152,37	1	0,93	2,5	409,60

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO:

O valor de δ é igual a 1, exceto quando o fator de utilização dos ganhos térmicos, η_v , é superior ao respetivo valor de referência, η_{ref} , que assume um valor igual a 0. Como já foi calculado anteriormente, $\eta_v = 0,63$ e $\eta_{ref} = 0,80$, portanto, $\delta = 1$.

O cálculo das necessidades nominais de energia primária para arrefecimento é apresentado na Tabela 4.43.

A classe de eficiência energética é a correspondente à classe mínima para o sistema de arrefecimento por defeito – Unidades split e multisplit.

Tabela 4.43 - Cálculo do Ntc para arrefecimento

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO							
Sistema para arrefecimento	Fonte de Energia	Nvc	fv	δ	η_v	Fpu,v	$f_v \times \delta \times Nvc \times Fpu,v / \eta_v$
Sistema por defeito (Classe B)	Eletricidade	13,47	1	1	3	2,5	33,67

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS:

O cálculo das necessidades nominais de energia primária para produção de AQS é apresentado na Tabela 4.44.

Tabela 4.44 - Cálculo do Ntc para produção de AQS

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS							
CONSUMO DE AQS	nº ocupantes	feh	MAQS				
	4	1	160				
NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL	MAQS	ΔT	nd	Ap	Qa/Ap		
	160	35	365	65	36,57		
Sistema para AQS	Fonte de Energia	Qa/Ap	fa	δ	η_a	Fpu,a	$f_a \times \delta \times Qa/Ap \times Fpu,a / \eta_a$
Caldeira	Eletricidade	36,57	1	1	0,93	2,5	39,33
							98,32

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA:

Não se aplica uma vez que não está definido nenhum equipamento de ventilação mecânica.

ENERGIA RENOVÁVEL:

Não se aplica uma vez que não está definido nenhum equipamento de energia renovável.

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA:

Conclui-se assim, que o valor das necessidades nominais anuais de energia primária é igual a 541,58 kWh_{EP}/m².ano, conforme a Tabela 4.45.

Tabela 4.45 - Cálculo do Ntc

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO	409,60
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO	33,67
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS	98,32
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA	0
ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL	0
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	541,58 kWh_{EP}/m².ano

4.1.8.6 Valor limite das necessidades nominais anuais de energia primária, Nt

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO:

O cálculo das necessidades nominais de energia primária para aquecimento é apresentado na Tabela 4.46.

Tabela 4.46 - Cálculo do Nt para aquecimento

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO						
Sistema para aquecimento	Fonte de Energia	Ni	fi	$\eta_{i,ref}$	Fpu,i	$f_i \times \delta \times N_i \times F_{pu,i} / \eta_{i,ref}$
<u>Caldeira</u>	Elettricidade	65,66	1	0,95	2,5	172,79

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO:

O cálculo das necessidades nominais de energia primária para arrefecimento é apresentado na Tabela 4.47.

Tabela 4.47 - Cálculo do Nt para arrefecimento

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO							
Sistema para arrefecimento	Fonte de Energia	Nv	fv	δ	$\eta_{v,ref}$	Fpu,v	$f_v \times \delta \times N_v \times F_{pu,v} / \eta_{v,ref}$
<u>Sistema por defeito</u>	Elettricidade	10,59	1	1	3	2,5	8,82

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS:

As necessidades nominais de energia primária para preparação de água quente sanitária foram determinadas de acordo com o número de ocupantes de referência e das características dos equipamentos já definidos.

O cálculo das necessidades nominais de energia primária para produção de AQS é apresentado na Tabela 4.48.

Tabela 4.48 - Cálculo do N_t para produção de AQS

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS								
CONSUMO DE AQS	nº ocupantes	feh	MAQS					
	4	1	160					
NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL	MAQS	ΔT	nd	Ap	Qa/Ap			
	160	35	365	65	36,57			
Sistema para AQS	Fonte de Energia	Qa/Ap	fa	δ	$\eta_{a,ref}$	Fpu,a	$(fa \times \delta \times Qa/Ap)/\eta_a$	$fa \times \delta \times Qa/Ap \times Fpu,a/\eta_{a,ref}$
Caldeira	Electricidade	36,57	1	1	0,95	2,5	38,50	96,25

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA:

Conclui-se assim, que o valor limite das necessidades nominais anuais de energia primária é igual a 277,86 kWh_{EP}/m².ano, conforme a Tabela 4.49.

Tabela 4.49 - Cálculo do N_t e verificação

VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO	172,79
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO	8,82
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS	96,25
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA	0
ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL	0
VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	277,86 kWh_{EP}/m².ano
Ntc = 541,58	> Nt (limite máximo) Não verifica!

4.1.9 Necessidades nominais de energia - Solução com U's regulamentares

Neste capítulo serão calculadas e verificadas as necessidades nominais de energia aplicando a solução com os U's por forma a cumprirem com os requisitos regulamentares. Apresenta-se, na Tabela 4.50, um resumo das soluções a aplicar neste ponto.

Tabela 4.50 – Solução com U's regulamentares

ELEMENTO	U	U _{máx}		
Paredes em contacto com o exterior	0,36	0,40		
Pavimento em contacto com ENU	0,32	0,35		
Cobertura em contacto com ENU	0,34	0,35		
Parede em contacto com o solo	0,44	-		
Pavimento em contacto com o solo	0,34			
Portas de entrada	2,29	-	g_{vi}^I	g_{Tvc}
Vãos envidraçados	1,84	2,40	0,38	0,37
INERCIA TÉRMICA	Frac			
VENTILAÇÃO	Ventilação natural			
EQUIPAMENTOS				
Produção de AQS	Caldeira elétrica			
Produção de calor				

4.1.9.1 Necessidades nominais anuais de energia útil para Aquecimento, Nic

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, $Q_{TR,I}$

- COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE EXTERIOR, H_{EXT} :

O cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior é apresentado na Tabela 4.51.

Tabela 4.51 - Cálculo do Hext – solução com U's regulamentares

		ÁREA	U	A.U
Envolvente exterior	Porta entrada	1,60	2,29	3,66
	Porta entrada	1,80	2,29	4,12
	Paredes	58,78	0,38	22,34
	TOTAL	62,18		30,12
Envidraçados		4,15	1,83	7,59
	TOTAL	4,15		7,59

	Tipo de ligação	B	ψ	B. ψ
Pontes térmicas lineares	Fachada com pavimento intermédio	51,00	0,6	30,60
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,23	0,1	0,22
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,1	0,22
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,1	0,22
	2 paredes verticais em ang. saliente	2,20	0,1	0,22
	Fachada com caixilharia	3,10	0,1	0,31
	Fachada com caixilharia	3,50	0,1	0,35
	Fachada com caixilharia	4,80	0,1	0,48
	Fachada com caixilharia	3,60	0,1	0,36
	Fachada com caixilharia	3,60	0,1	0,36
	Fachada com pavimento sobre ENU	24,59	0,1	2,46
	Fachada com cobertura	26,58	1	26,58
	TOTAL			62,38

$$\text{Hext} = 30,12 + 6,23 + 62,38 = \boxed{100,10} \text{ W/}^\circ\text{C}$$

- COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO ÚTEIS, HENU:

O cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com espaços não úteis é apresentado na Tabela 4.52.

Tabela 4.52 - Cálculo do Henu – solução com U's regulamentares

		ÁREA	U	btr	A.U.btr
Vazio sanitário - cupolex	Pavimento em contacto com o cupolex	30,00	0,32	1	9,60
Desvão do telhado	Cobertura em contacto com desvão	35,00	0,34	1	11,90
TOTAL		65,00			21,50

$$\text{Henu} = \boxed{21,50} \text{ W/}^\circ\text{C}$$

- COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DE ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO, HECS:

O cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo é apresentado na Tabela 4.53.

Tabela 4.53 - Cálculo do Hecs – solução com U's regulamentares

		A	Uf	A x Uf
Pavimentos térreos	Piso 1	5,47	0,4	2,19
	TOTAL	5,47		2,19

		A	Ubw	A x Ubw
Paredes enterradas	RCH	22,23	0,4	8,89
	Piso 1	11,86	0,4	4,74
	TOTAL	11,86		13,64

$$\text{Hecs} = 2,19 + 13,64 = \boxed{15,82} \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Após os cálculos anteriores, conclui-se que o valor do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $H_{tr,i}$ é igual a 137,42 W/°C, e que o valor da transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $Q_{tr,i}$ é igual a 5250,66 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.54.

Tabela 4.54 - Cálculo do $Q_{tr,i}$ – solução com U's regulamentares**TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO - AQUECIMENTO**

$$H_{tr,i} = 100,10 + 21,50 + 15,82 = 137,42 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times 1592 \times 137,42 = 5250,66 \text{ kWh}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR, $Q_{ve,i}$

Relativamente ao valor do coeficiente global de transferência de calor por renovação de ar na estação de aquecimento, não houve alterações em relação à solução inicial, mantendo-se assim o valor de $Q_{ve,i}$ igual a 1231,63 kWh.

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS, $Q_{gu,i}$ ➤ **GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS A FONTES INTERNAS DE CALOR, $Q_{int,i}$**

No que diz respeito a este valor, também não houve alterações, assim, $Q_{int,i}$ é igual a 1254,24 kWh.

➤ GANHOS TÉRMICOS ASSOCIADOS AO APROVEITAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR PELOS VÃOS ENVIDRAÇADOS, $Q_{sol,i}$:

O cálculo dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos envidraçados é apresentado na Tabela 4.55.

Tabela 4.55 - Cálculo do $Q_{sol,i}$ – solução com U's regulamentares

ENVIDRAÇADO	Orientação	g_i	A_w	$F_{s,i}$	F_g	$A_{s,i}$	X	$X \cdot A_{s,i}$
Sala RCH	NO	0,34	1,20	0,9	0,7	0,3	0,33	0,09
Sala openspace	NO	0,34	0,60	0,9	0,7	0,1	0,33	0,04
Quarto 1	NE	0,34	0,80	0,9	0,7	0,2	0,33	0,06
Quarto 2	NE	0,34	0,80	0,9	0,7	0,2	0,33	0,06
Quarto 2	NO	0,34	0,75	0,9	0,7	0,2	0,33	0,05
TOTAL								0,30

$$Q_{sol,i} = 135 \times 0,30 \times 6,7 = \boxed{266,89} \text{ kWh}$$

O valor dos ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, $Q_{gu,i}$ é igual a 1518,79 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.56.

Tabela 4.56 - Cálculo do $Q_{gu,i}$ – solução com U's regulamentares**GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS**

$$Q_{g,i} = 1254,24 + 266,89 = 1521,13 \text{ kWh}$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} = \frac{1521,13}{5250,66 + 1231,64} = 0,23 \rightarrow \eta = \frac{1 - 0,24^{1,8}}{1 - 0,24^{1,8+1}} = 0,998$$

$$Q_{gu,i} = 0,998 \times 1521,13 = 1518,79 \text{ kWh}$$

Conclui-se que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é igual a 76,37 kWh/m².ano, conforme se verifica na Tabela 4.57.

Tabela 4.57 - Cálculo do Nic – solução com U's regulamentares

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$N_{ic} = (5250,66 + 1231,64 - 1518,79)/65,0 = 76,37 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$$

4.1.9.2 Valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para Aquecimento, Ni**TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, $Q_{tr,i_{ref}}$**

O valor de $Q_{tr,i_{ref}}$ da solução regulamentar é o mesmo da solução do projeto, uma vez que os valores de referência são os mesmos (U_{ref} e ψ_{ref}). Sendo assim, $Q_{tr,i_{ref}} = 5184,79 \text{ kWh}$.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR, $Q_{ve,i_{ref}}$

O valor de $Q_{ve,i_{ref}}$ da solução regulamentar é o mesmo da solução do projeto, uma vez que o valor do $R_{ph,i_{ref}}$ é o mesmo. Então, $Q_{ve,i_{ref}} = 1119,67 \text{ kWh}$.

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS, $Q_{gu,i_{ref}}$

Os ganhos térmicos úteis também são calculados da mesma forma e por isso o valor mantém-se, $Q_{gu,i_{ref}} = 2036,57 \text{ kWh}$.

Conclui-se que o valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é igual a $65,66 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$, conforme se verifica na Tabela 4.58.

Tabela 4.58 - Cálculo do Ni e verificação – solução com U's regulamentares

VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$N_i = \frac{5184,79 + 1119,67 - 2036,57}{65,0} = 65,66 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

Nic = 76,37 > **Ni (limite máximo)** Não verifica!

4.1.9.3 Necessidades nominais anuais de energia útil para Arrefecimento, Nvc**TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, Qtr,v**

Os valores de Hext, Henu e Hecs são os mesmos calculados na estação de aquecimento para a estação de arrefecimento. Sendo assim, apresenta-se de seguida (Tabela 4.59), o cálculo direto do Qtr,v.

Tabela 4.59 - Cálculo do Qtr,v – solução com U's regulamentares

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO - ARREFECIMENTO

$$H_{tr,v} = 100,10 + 21,50 + 15,82 = 137,42 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Q_{tr,v} = 136,05 \times (25 - 21,4) \times 2,928 = 1448,55 \text{ kWh}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DE AR, Qve,v

O valor de transferência de calor por renovação de ar na estação de arrefecimento, Qve,v, não sofre alterações em relação à solução inicial, e por isso é igual a 339,78 kWh.

GANHOS TÉRMICOS, Qg,v

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor também se mantêm os mesmos, Qint,v = 761,30 kWh.

No entanto, os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada, $Q_{sol,v}$, sofrem alterações, uma vez que o fator solar dos envidraçados não é o mesmo, ver Tabela 4.60.

Tabela 4.60 - Cálculo do $Q_{sol,v}$ – solução com U's regulamentares

ENVIDRAÇADO	Orientação	Aw	Tipo de vidro	Fg	Fw,v	Fm,v	gT	gTp	gv	As,v	Fs,v	Isol	Isol.Fs,v.As,v
Sala RCH	NO	1,20	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,19	0,32	0,27	0,23	0,90	350	71,12
Sala openspace	NO	0,60	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,19	0,32	0,27	0,11	0,90	350	35,56
Quarto 1	NE	0,80	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,19	0,32	0,27	0,15	0,90	350	47,41
Quarto 2	NE	0,80	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,19	0,32	0,27	0,15	0,90	350	47,41
Quarto 2	NO	0,75	Duplo	0,7	0,85	0,40	0,19	0,32	0,27	0,14	0,90	350	44,45
TOTAL													245,96

PARADE EXTERIOR	Orientação	α	Aop	U	Rse	As,v	Fs,v	Isol	Isol.Fs.As
1	NO	0,40	10,26	0,38	0,04	0,06	1,00	350	21,83
2	NE	0,40	12,04	0,38	0,04	0,07	1,00	350	25,63
3	NO	0,40	5,50	0,38	0,04	0,03	1,00	350	11,70
4	SO	0,40	2,20	0,38	0,04	0,01	1,00	490	6,55
5	NO	0,40	8,65	0,38	0,04	0,05	1,00	350	18,40
6	NE	0,40	8,80	0,38	0,04	0,05	1,00	350	18,73
7	SE	0,40	8,41	0,38	0,04	0,05	1,00	490	25,05
8	SE	0,40	2,93	0,38	0,04	0,02	0,84	490	7,32
TOTAL									135,21

COBERTURA INTERIOR	Orientação	α * Fator	Aop	U	Rse	As	Fs	Isol	Isol.Fs.As
1	Horizontal	0,28	35,00	0,34	0,04	0,13	1,00	800	106,62
TOTAL									106,62

VÃOS OPACOS EXTERIORES	Orientação	α	Aop	U	Rse	As	Fs	Isol	Isol.Fs.As
1	NE	0,40	1,80	2,29	0,04	0,07	0,90	350	20,77
2	SE	0,40	1,60	2,29	0,04	0,06	0,84	490	24,13
TOTAL									44,90

$$Q_{sol,v} = 245,96 + 135,21 + 152,32 + 44,90 = \boxed{532,70} \text{ kWh}$$

O valor dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento, $Q_{g,v}$ é igual a 120,47 kWh, conforme se verifica na Tabela 4.61.

Tabela 4.61 - Cálculo do $Q_{g,v}$ – solução com U's regulamentares

GANHOS TÉRMICOS

$$Q_{g,v} = 761,30 + 532,70 = 1290,47 \text{ kWh}$$

Conclui-se que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento é igual a 5,13 kWh/m².ano, conforme se verifica na Tabela 4.62.

Tabela 4.62 - Cálculo do Nvc – solução com U's regulamentares

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} = \frac{1290,47}{1448,55 + 339,8} = 0,72 \rightarrow \eta = \frac{1 - 0,72^{1,8}}{1 - 0,72^{1,8+1}} = 0,74$$

$$N_{vc} = (1 - 0,74) \times \frac{1290,47}{65} = 5,13 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$$

4.1.9.4 Valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para Arrefecimento, Nv

O valor limite necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é igual ao calculado para a solução não regulamentar, ou seja, igual a 10,59 kWh/m².ano, a verificação é feita na Tabela 4.63.

Tabela 4.63 – Verificação com o Nv – solução com U's regulamentares

VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

Nvc = 5,13 < Nv (limite máximo) OK!

4.1.9.5 Necessidades nominais anuais de energia primária, Ntc**NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO:**

O cálculo das necessidades nominais de energia primária para aquecimento é apresentado na Tabela 4.64.

Tabela 4.64 - Cálculo do Ntc para aquecimento – solução com U's regulamentares

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO						
Sistema para aquecimento	Fonte de Energia	Nic	fi	ηi	Fpu,i	fi × Nic × Fpu,i/ηi
Caldeira	Eletricidade	76,37	1	0,93	2,5	205,29

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO:

O cálculo das necessidades nominais de energia primária para arrefecimento é apresentado na Tabela 4.65.

Tabela 4.65 - Cálculo do Ntc para arrefecimento – solução com U's regulamentares

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO							
Sistema para arrefecimento	Fonte de Energia	Nvc	fv	δ	η_v	Fpu,v	$fv \times \delta \times Nvc \times Fpu,v / \eta_v$
Sistema por defeito	Eletricidade	5,13	1	1	3	2,5	12,82

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS:

As necessidades nominais de energia primária para produção de AQS são iguais às calculadas para a solução não regulamentar (98,32 kWh_{EP}/m².ano).

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA:

Conclui-se assim, que o valor das necessidades nominais anuais de energia primária é igual a 299,38 kWh_{EP}/m².ano, conforme a Tabela 4.66.

Tabela 4.66 - Cálculo do Ntc – solução com U's regulamentares

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO	205,29
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO	12,82
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS	98,32
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA	0
ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL	0
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	316,43 kWh _{EP} /m ² .ano

4.1.9.6 Valor limite das necessidades nominais anuais de energia primária, Nt

Este valor é igual ao calculado para a solução não regulamentar, por isso não é necessário apresentar novamente os cálculos, pelo que se apresenta apenas os valores finais na Tabela 4.67.

Tabela 4.67 - Cálculo do Nt e verificação – solução com U's regulamentares

VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO	172,79
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO	8,82
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS	96,25
NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA	0
ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL	0
VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	277,86 kWh_{EP}/m².ano
Ntc = 316,43	> Nt (limite máximo) Não verifica!

4.1.10 Análise dos resultados

Efetua-se, na tabela seguinte, comparação dos valores dos requisitos e das necessidades nominais de energia da solução projetada com a solução dos U's regulamentares, e apresenta-se os valores máximos permitidos segundo a legislação.

Tabela 4.68 – Comparação das soluções

Requisito	Elemento	Solução projetada	Solução regulamentar	Limite máximo	
U	Paredes em contacto com o exterior	0,72	0,36	0,40	W/m ² .°C
	Pavimento em contacto com ENU	0,50	0,32	0,35	W/m ² .°C
	Cobertura em contacto com ENU	3,97	0,34	0,35	W/m ² .°C
	Paredes em contacto com o solo	0,44	0,44	-	W/m ² .°C
	Pavimento em contacto com o solo	0,34	0,34	-	W/m ² .°C
	Portas de entrada	2,29	2,29	-	W/m ² .°C
	Vãos envidraçados	2,90	1,84	2,40	W/m ² .°C
Necessidades nominais de energia	Aquecimento - Nic/Ni	152,37	76,37	65,66	kWh/m ² .ano
	Arrefecimento - Nvc/Nv	13,47	5,13	10,59	kWh/m ² .ano
	Primária - Ntc/Nt	541,58	316,43	277,86	kWh _{EP} /m ² .ano

Conclui-se que, com a modificação dos U's para regulamentares, os requisitos mínimos são cumpridos.

No entanto, no que diz respeito aos valores das necessidades nominais de energia, verifica-se que é necessário implementar outras soluções na habitação, uma vez que o Nic e o Ntc continuam a não cumprir na nova solução.

Assim, para esse efeito, apresenta-se na Tabela 4.69, um resumo dos valores obtidos da estação de aquecimento (solução com U's regulamentares) e respetiva comparação com os valores de referência, para que se possa efetuar uma análise dos resultados e verificar qual a condição a melhorar.

Tabela 4.69 - Resultados da estação de aquecimento

	INVERNO	
	VALOR REAL	VALOR DE REFERÊNCIA
Qtr	5250,66	5184,79
Qvent	1231,64	1119,67
Qsol	266,89	2140,05
η	1,00	0,60

Após um estudo da tabela anterior, verificou-se que o valor dos ganhos solares apresenta uma discordância significativa relativamente aos valores de referência. Reconhece-se que este resultado poderá estar relacionado com o facto dos envidraçados estarem todos orientados no quadrante norte e, por esse motivo, não existirem praticamente quaisquer ganhos solares na habitação.

Como solução para melhorar este fator, existem várias alternativas possíveis:

Uma alternativa seria melhorar a inércia térmica, que é fraca, para forte, que iria melhorar o fator de utilização dos ganhos, η , mas nesta situação esse valor já é ótimo.

Outra variação seria piorar os envidraçados, ou seja, utilizar um vidro com maior transmissibilidade térmica, para aumentar os ganhos solares no Inverno. Mas uma vez que todos os envidraçados estão orientados no quadrante Norte a melhor opção seria talvez criar envidraçados orientados no quadrante Sul, onde iria obter grandes ganhos no Inverno. E utilizar proteções exteriores de cor clara, para evitar o sobreaquecimento no Verão.

4.2 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo dimensionar um sistema de aquecimento e AQS para a habitação em estudo. O dimensionamento será efetuado partindo da solução de caldeira elétrica e painéis para o aquecimento ambiente e a mesma caldeira e um depósito acumulador para o aquecimento de AQS, ver Fig. 4.19.

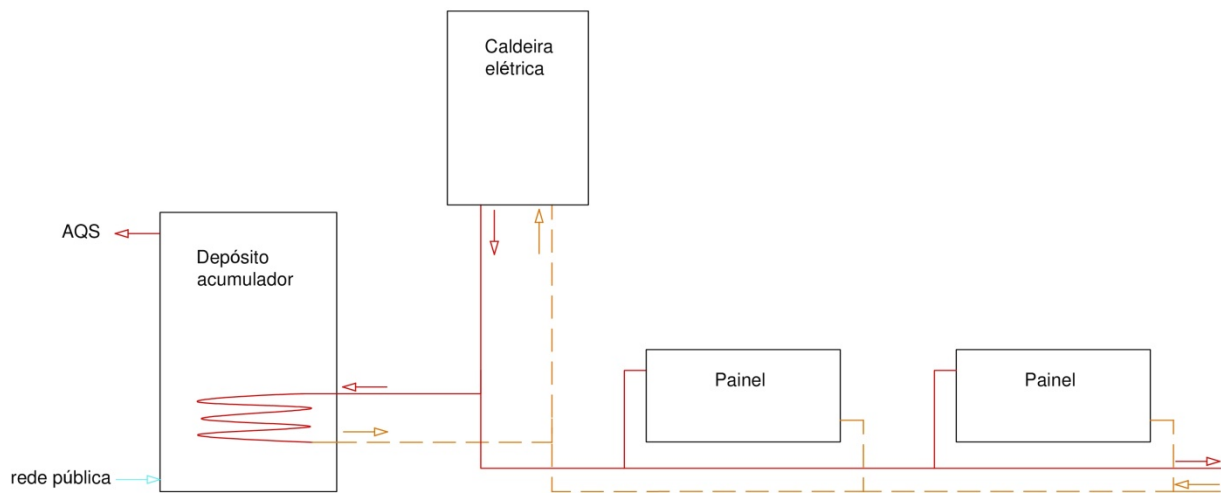


Fig. 4.19 - Esquema de instalação de Aquecimento e AQS

Vai ser executado para as duas soluções que foram apresentadas no capítulo de desempenho térmico: a solução projetada e a solução com os U's regulamentares.

A legislação existente não abrange o dimensionamento de sistemas de climatização e portanto, no ponto seguinte, serão apresentadas as respetivas metodologias de cálculo.

Num ponto final do capítulo, será efetuada uma comparação das soluções e respetiva análise dos resultados.

4.2.1 Metodologias de cálculo

4.2.1.1 Carga térmica de aquecimento ambiente

As metodologias de cálculo a seguir apresentadas foram retiradas de elementos de apoio da autoria da Eng^a Isabel Sarmento, docente do ISEP, correspondentes a uma unidade curricular da Licenciatura em Engenharia Mecânica.

O valor da carga térmica de um edifício é dado pelo somatório das perdas de calor pela envolvente e pela ventilação e/ou infiltração:

$$CT_{\text{inverno}} = Q_{\text{envolvente}} + Q_{\text{ventilação}} \quad (4.4)$$

CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO: ENVOLVENTE

A parcela da carga térmica devida à envolvente, $Q_{\text{envolvente}}$, é dada pela expressão:

$$Q_{\text{envolvente}} = Q_{\text{env ext}} + Q_{\text{env int}} + Q_{\text{env em contacto com o solo}} \quad [\text{W}] \quad (4.5)$$

➤ CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE EXTERIOR:

$$Q_{\text{env exterior}} = Q_{\text{zona corrente}} + Q_{PT \text{ planas}} + Q_{PT \text{ lineares}} \quad [\text{W}] \quad (4.6)$$

em que:

$$Q_{\text{zona corrente}} = (\sum A \cdot U) \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (4.7)$$

$$Q_{PT \text{ planas}} = \left(\sum A \cdot U \right) \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (4.8)$$

$$Q_{PT \text{ lineares}} = \left(\sum L \cdot \psi \right) \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (4.9)$$

onde:

$$\Delta T = T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}}, [^{\circ}\text{C}];$$

A – área superficial do elemento, $[\text{m}^2]$;

U – coeficiente de transmissibilidade térmica, $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}]$.

➤ CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE INTERIOR:

$$Q_{\text{env interior}} = Q_{\text{zona corrente}} + Q_{PT \text{ planas}} + Q_{PT \text{ lineares}} \quad [\text{W}] \quad (4.10)$$

onde,

$$Q_{\text{zona corrente}} = (\sum A \cdot U) \cdot \Delta T \cdot b_{tr} \quad [\text{W}] \quad (4.11)$$

$$Q_{PT} = \left(\sum A \cdot U \right) \cdot \Delta T \cdot b_{tr} \quad [\text{W}] \quad (4.12)$$

$$Q_{PT \text{ lineares}} = \left(\sum L \cdot \psi \right) \cdot \Delta T \cdot b_{tr} \quad [\text{W}] \quad (4.13)$$

se $b_{tr} \leq 0,7 \rightarrow Q_{PT \text{ lineares}} = 0$

onde:

L – desenvolvimento linear da ponte térmica, [m];

ψ – coeficiente de transmissibilidade térmica linear, $[\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}]$;

➤ CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE EM CONTACTO COM O SOLO:

$$Q_{\text{env contacto com solo}} = Q_{pav. \text{ contacto solo}} + Q_{par. \text{ contacto solo}} \quad [\text{W}] \quad (4.14)$$

onde:

Contacto direto com o exterior:

$$Q_{\text{pavimento contacto solo}} = \left(\sum A_{\text{pav solo}} \cdot U_{bf} \right) \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (4.15)$$

$$Q_{\text{parede contacto solo}} = \left(\sum A_{\text{parede solo}} \cdot U_{bw} \right) \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (4.16)$$

Contacto com espaços não úteis:

$$Q_{\text{pavimento contacto solo}} = \left(\sum A_{\text{pav solo}} \cdot U_{bf} \right) \cdot b_{tr} \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (4.17)$$

$$Q_{\text{parede contacto solo}} = \left(\sum A_{\text{parede solo}} \cdot U_{bw} \right) \cdot b_{tr} \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (4.18)$$

onde:

$A_{\text{pav solo}}$ – área de pavimento em contacto com o solo, [m²];

U_{bf} – coeficiente de transmissibilidade térmica do pavimento enterrado, [W/m².°C];

$A_{\text{parede solo}}$ – área de parede em contacto com o solo, [m²];

U_{bw} – coeficiente de transmissibilidade térmica da parede enterrada, [W/m².°C];

CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO: VENTILAÇÃO

A parcela da carga térmica devida à renovação de ar, $Q_{\text{ventilação}}$, é dada pela expressão:

$$Q_{\text{ventilação}} = \dot{m} \cdot \Delta h \quad [\text{W}] \quad (4.19)$$

onde:

\dot{m} – caudal mássico de ar, [kg/s];

Δh – variação de entalpia do ar, [kJ/kg].

em que:

$$\dot{m} = \text{caudal ventilação de admissão } (m^3/h) \times \rho_{ar} \times 1000/3600 \quad [\text{kg/s}] \quad (4.20)$$

(metodologia fornecida pelo Engº Mec. Vítor Naldinho)

4.2.1.2 Emissão calorífica

As metodologias de cálculo para a emissão calorífica, a seguir apresentadas, tiveram o apoio manuais técnicos da autoria da BaxiRoca. Os equipamentos e valores necessários serão retirados das fichas técnicas da marca.

A emissão calorífica de radiadores e painéis pode variar significativamente quando a instalação de aquecimento central funciona com temperaturas diferentes das consideradas nas tabelas técnicas consultadas.

Partindo de uma tabela de potências para $\Delta t = 50^\circ\text{C}$, a variação da emissão calorífica dum radiador ou painel, em função das temperaturas, pode determinar-se pela seguinte lei exponencial:

$$Q = Q_{50} \left(\frac{\Delta t}{50} \right)^n \quad (4.21)$$

onde:

Q – emissão calorífica que se procura;

Q₅₀ – emissão calorífica correspondente a $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ (exposto nas tabelas técnicas);

Δt – salto térmico ($t_m - t_a$) diferente do normal;

n – expoente da curva característica do emissor (exposto nas tabelas técnicas).

SALTO TÉRMICO, ΔT

O salto térmico corresponde à diferença de temperatura de entrada e saída (temperatura média do painel) para uma determinada temperatura ambiente:

$$\text{Se } \frac{\Delta ts}{\Delta te} \geq 0,7, \text{ então } \Delta t = tm - ta = \frac{te + ts}{2} - ta \quad (4.22)$$

$$\text{Se } \frac{\Delta ts}{\Delta te} < 0,7, \text{ então } \Delta t = \frac{te - ts}{\ln \frac{\Delta te}{\Delta ts}} \quad (4.23)$$

em que:

$$\Delta ts = ts - ta \quad (4.24)$$

$$\Delta te = te - ta \quad (4.25)$$

As temperaturas que influenciam na emissão calorífica dum radiador ou painel estão representadas no desenho que de seguida se apresenta:

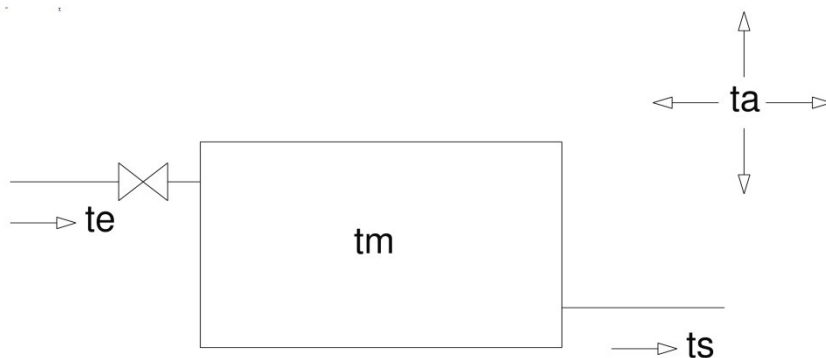


Fig. 4.20 - Temperaturas relacionadas com a emissão calorífica de um painel

onde:

te – temperatura de entrada do líquido de entrada;

ts – temperatura de saída do líquido aquecedor;

tm – temperatura média do painel;

ta – temperatura ambiente.

4.2.1.3 Caldeira elétrica

Para o cálculo da potência necessária da caldeira é necessário ter em atenção a eficiência da mesma, pois se for necessário 10 kW e a caldeira tiver uma eficiência de 90%, então só iria emitir 9 kW.

No caso de caldeira elétrica, a eficiência é igual a 100%, então a potência necessária é obtida somando a potência dos radiadores.

4.2.1.4 AQS

No caso de um depósito acumulador com serpentina, aquecido através da caldeira elétrica, o dimensionamento consiste em:

- Definir a capacidade do depósito;
- Atribuir uma temperatura de saída do depósito;
- Definir uma temperatura de entrada e saída da serpentina (temperatura de saída e entrada da caldeira respetivamente);
- Calcular a potência permutada pela serpentina;
- Calcular o tempo que o depósito demora para encher à temperatura que foi definida.

Os valores e metodologias de cálculo foram consultados em manuais da BaxiRoca e são apresentados de seguida.

Depois de definido o depósito a utilizar, é consultada a respetiva ficha técnica que apresenta os valores do caudal da serpentina e através da temperatura de entrada e de saída (definidas) é calculada a potência permutada utilizando a seguinte fórmula:

$$Q = \frac{V \times \Delta t}{0,86} \quad [\text{kW}] \quad (4.26)$$

onde:

Q – potência que se pretende calcular, [kW];

V – caudal do circuito primário (serpentina), [m³/h];

Δt = temperatura de entrada – temperatura de saída do circuito primário, [°C].

A metodologia para determinar o tempo de aquecimento do acumulador consiste em calcular o caudal do mesmo, para uma temperatura de entrada da rede pública considerada em 10°C e uma temperatura final de saída definida pelo cliente. A BaxiRoca recomenda uma temperatura de armazenamento de 60°C.

O cálculo é efetuado utilizando a mesma formula apresentada ($Q = (V \times \Delta t) / 0,86$), sendo que a o valor a descobrir é agora o V (caudal) e a o Q corresponde à potência permutada pela serpentina.

O tempo é determinado através do quociente entre o volume do depósito e o caudal calculado.

4.2.1.5 Tubagens

Para instalações de aquecimento doméstico é usualmente aplicada a tubagem de cobre. São de fácil manuseamento e portanto, rápida instalação.

A seleção dos diâmetros das tubagens é feita com o apoio de uma tabela da BaxiRoca, em que o diâmetro depende da potência de irá ser transmitida.

kcal/h	φ tubagem(mm)
até 1500	10/12
1500 - 2500	12/14
2501 - 3100	13/15
3101 - 3700	14/16
3701 - 5100	16/18
5101 - 9500	20/22
9501 - 17600	25/28
17601 - 33000	32/35
33001 - 56000	39/42

Fig. 4.21- Diâmetros tubagem de cobre - BaxiRoca

4.2.2 Dimensionamento – solução projetada

4.2.2.1 Cargas térmicas de aquecimento ambiente, CT,i

As cargas térmicas de aquecimento ambiente serão dimensionadas utilizando valores calculados anteriormente no ponto relativo ao desempenho térmico da habitação. Os valores serão apresentados

por compartimento e como um todo. Relativamente à temperatura ambiente da casa, irá utilizar-se a 22°C, a pedido do cliente. A temperatura exterior corresponde à temperatura do dia mais frio na estação de aquecimento quem tem o valor de 3,9°C.

Na Tabela 4.70, expõe-se as áreas e os volumes dos compartimentos.

Tabela 4.70 – Área e volume dos compartimentos

COMPARTIMENTO	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)
Sala RCH	30,0	66,9
Sala openspace	5,7	12,5
WC1	4,1	9,0
WC2	0,8	1,8
Corredor	5,2	11,4
Quarto 1	10,5	23,1
Quarto 2	8,7	19,1
TOTAL	65,0	143,9

CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO: ENVOLVENTE, Q_{ENV}

A carga térmica de aquecimento devida à envolvente é calculada conforme a equação (4.5).

➤ **CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE EXTERIOR, Q_{EXT}:**

A carga térmica devida à envolvente exterior é apresentada na equação (4.6) e o seu cálculo está representado na Tabela 4.71.

Tabela 4.71 - Cálculo do Qext - solução projetada

COMPARTIMENTO	Qzona corrente				QPT lineares				Qext (W)
	A (m ²)	U (W/(m ² .°C))	ΔT (°C)	A.U.ΔT	L (m)	ψ (W/m.°C)	ΔT (°C)	L.ψ.ΔT	
Sala RCH	22,30	0,72	18	290,61	2,23	0,10	18	4,04	486,44
	1,80	2,29	18	74,61	4,80	0,10	18	8,69	
			18	0,00	9,99	0,60	18	108,49	
Sala openspace	5,50	0,72	18	71,68	3,10	0,10	18	5,61	105,52
			18	0,00	2,60	0,60	18	28,24	
			18	0,00			18	0,00	
WC1	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
			18	0,00			18	0,00	
			18	0,00			18	0,00	
WC2	2,93	0,72	18	38,18	1,30	0,60	18	14,12	52,30
			18	0,00			18	0,00	
			18	0,00			18	0,00	
Corredor	3,00	0,72	18	39,10	2,20	0,10	18	3,98	128,94
	1,60	2,29	18	66,32	1,80	0,60	18	19,55	
			18	0,00			18	0,00	
Quarto 1	10,46	0,72	18	136,31	2,20	0,10	18	3,98	223,92
			18	0,00	3,60	0,20	18	13,03	
			18	0,00	6,50	0,60	18	70,59	
Quarto 2	14,60	0,72	18	190,27	2,20	0,10	18	3,98	287,28
			18	0,00	7,10	0,20	18	25,70	
			18	0,00	6,20	0,60	18	67,33	
TOTAL				907,08				377,33	1284,41

➤ CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE INTERIOR, QINT:

A carga térmica devida à envolvente interior é calculada conforme a equação (4.10) e o seu cálculo é apresentado na Tabela 4.72.

Tabela 4.72 - Cálculo do Qint - solução projetada

COMPARTIMENTO	Qzona corrente					QPT lineares					Qint (W)
	A (m ²)	U (W/(m ² .°C))	ΔT (°C)	btr	A.U.ΔT.btr	L (m)	ψ (W/m.°C)	ΔT (°C)	btr	L.ψ.ΔT.btr	
Sala RCH	30,00	0,50	18	1,00	271,50	9,99	0,10	18	1,00	18,08	289,58
Sala openspace	5,70	3,97	18	1,00	409,58	2,60	0,17	18	1,00	8,00	417,59
WC1	4,10	3,97	18	1,00	294,61	0,00	0,17	18	1,00	0,00	294,61
WC2	0,80	3,97	18	1,00	57,49	1,30	0,17	18	1,00	4,00	61,49
Corredor	5,20	3,97	18	1,00	373,66	1,80	0,17	18	1,00	5,54	379,20
Quarto 1	10,50	3,97	18	1,00	754,50	6,50	0,17	18	1,00	20,00	774,50
Quarto 2	8,70	3,97	18	1,00	625,16	6,20	0,17	18	1,00	19,08	644,23
TOTAL					2786,50					74,70	2861,19

➤ CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE EM CONTACTO COM O SOLO, QECS:

A carga térmica devida à envolvente em contacto com o solo é apresentada na equação (4.14) e o seu cálculo está indicado na Tabela 4.73.

Tabela 4.73 - Cálculo do Qecs - solução projetada

COMPARTIMENTO	Qpav contacto solo				Qpar contacto solo				Qecs (W)
	Apav (m ²)	Ubf (W/(m ² .°C))	ΔT (°C)	Apav.Ubf.ΔT	Apar (m ²)	Ubw (W/(m ² .°C))	ΔT (°C)	Apar.Ubw.ΔT	
Sala RCH	0,00		18	0,00	22,23	0,44	18	177,04	177,04
Sala openspace	5,70	0,34	18	35,08	4,98	0,44	18	39,66	74,74
WC1	0,00		18	0,00	6,88	0,44	18	54,79	54,79
WC2	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
Corredor	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
Quarto 1	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
Quarto 2	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
TOTAL				35,08				271,49	306,57

Conclui-se que os valores das cargas térmicas de aquecimento, devida à envolvente, de cada compartimento são apresentados na Tabela 4.74.

Tabela 4.74 - Cálculo do Qenvolvente - solução projetada

COMPARTIMENTO	Qext (W)	Qint (W)	Qecs (W)	Qenvolvente (W)
Sala RCH	486,44	289,58	177,04	953,06
Sala openspace	105,52	417,59	74,74	597,85
WC1	0,00	294,61	54,79	349,41
WC2	52,30	61,49	0,00	113,79
Corredor	128,94	379,20	0,00	508,14
Quarto 1	223,92	774,50	0,00	998,42
Quarto 2	287,28	644,23	0,00	931,52
TOTAL	1284,41	2861,19	306,57	4452,17

CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO: VENTILAÇÃO

A carga térmica de aquecimento devido à ventilação é indicada na equação (4.19).

O cálculo do Δh (variação da entalpia do ar) teve o apoio do Eng^o Vítor Naldinho, e é obtido subtraindo a entalpia do ar interior – a uma temperatura de 22°C e humidade relativa de 50% (valor admitido) – com a entalpia do ar exterior – a uma temperatura mínima do local de 3,9°C (situação mais desfavorável na estação de aquecimento para o local) e humidade relativa do ar de 80% (valor admitido). Os valores da entalpia são obtidos utilizando folhas psicrométricas, ver Fig. 4.22.

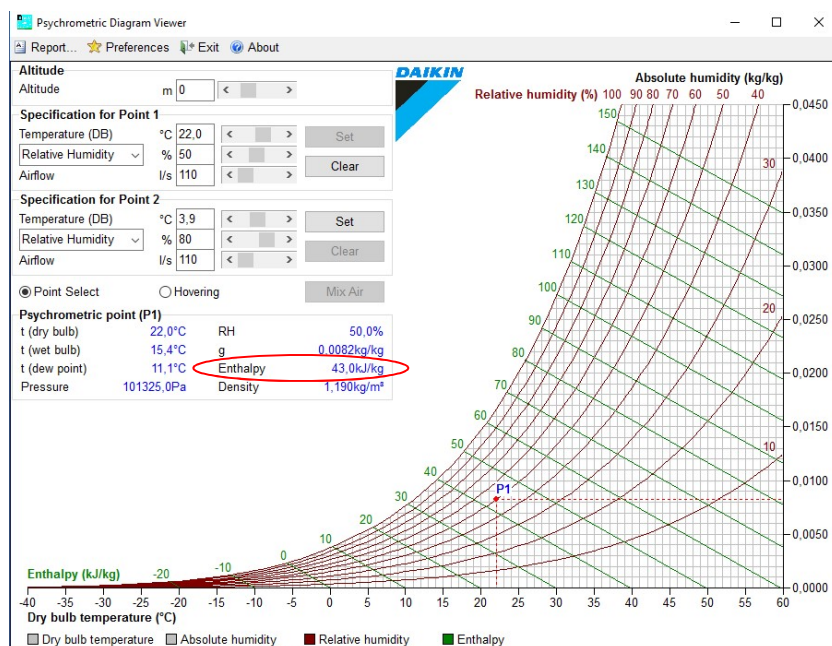
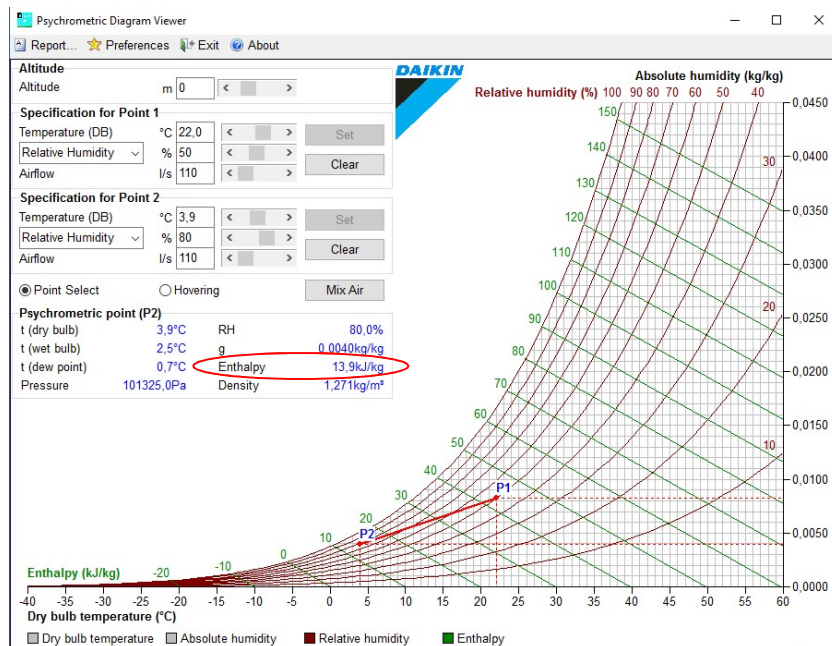


Fig. 4.22 - Folhas psicométricas

Daikin e valores obtidos



Os valores das cargas térmicas de aquecimento, devida à ventilação, de cada compartimento são apresentados na Tabela 4.75.

Tabela 4.75 - Cálculo do Qvent - solução projetada

COMPARTIMENTO	Caudal vent (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	h interior (kJ/kg)	h exterior (kJ/kg)	Δh (kJ/kg)	Qventilação (W)
Sala RCH	120	40,00	43,0	13,9	29,100	1164,00
Sala openspace	30	10,00				291,00
WC1	0	0,00				0,00
WC2	0	0,00				0,00
Corredor	0	0,00				0,00
Quarto 1	30	10,00				291,00
Quarto 2	30	10,00				291,00
TOTAL	210	70,00				2037,00

Conclui-se que o valor das cargas térmicas de aquecimento ambiente são os seguintes:

Tabela 4.76 - Cálculo da CT,i - solução projetada

COMPARTIMENTO	Qenv (W)	Qvent (W)	CT,i (W)
Sala RCH	953,06	1164,00	2117,06
Sala openspace	597,85	291,00	888,85
WC1	349,41	0,00	349,41
WC2	113,79	0,00	113,79
Corredor	508,14	0,00	508,14
Quarto 1	998,42	291,00	1289,42
Quarto 2	931,52	291,00	1222,52
TOTAL	4452,17	2037,00	6489,17

4.2.2.2 Dimensionamento radiadores

Os radiadores a instalar serão da marca BAXIROCA, modelo ADRAPLAN 600 S, a pedido do cliente. Apresenta-se de seguida, Tabela 4.77, as emissões caloríficas de cada modelo ADRAPLAN.

Tabela 4.77 - Emissão calorífica dos radiadores

Modelos	Emissão calorífica ⁽¹⁾ (W)
ADRAPLAN S 400	595
ADRAPLAN S 500	744
ADRAPLAN S 600	893
ADRAPLAN S 700	1042
ADRAPLAN S 800	1190
ADRAPLAN S 900	1339
ADRAPLAN S 1000	1488
ADRAPLAN S 1100	1637
ADRAPLAN S 1200	1786
ADRAPLAN S 1300	1935
ADRAPLAN S 1500	2233

⁽¹⁾ Emissão calorífica em W para $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$

Os valores acima apresentados correspondem à emissão calorífica dos radiadores para um salto térmico de 50°C . O salto térmico é a diferença entre a temperatura de entrada e saída para uma determinada temperatura ambiente.

O dimensionamento será efetuado, calculando-se um salto térmico para uma temperatura de entrada de 70°C e temperatura de saída de 60°C . O que significa que a temperatura de saída caldeira é de 70°C e a de retorno de 60°C .

Assim, temos:

$$\frac{\Delta t_s}{\Delta t_e} = \frac{60 - 22}{70 - 22} = 0,79$$

Como $\frac{\Delta t_s}{\Delta t_e} > 0,7$, então:

$$\Delta t = t_m - t_a = \frac{t_e + t_s}{2} - t_a = \frac{60 + 70}{2} - 22 = 43^{\circ}\text{C}$$

Apresenta-se, na Tabela 4.78, o cálculo da emissão calorífica (eq. (4.21)) de cada painel, para um $\Delta t = 43^{\circ}\text{C}$.

Tabela 4.78 - Cálculo da emissão calorífica dos radiadores

Modelos	te (°C)	ts (°C)	ta (°C)	$\Delta t_s/\Delta t_e$	$\geq 0,7$?	Δt (°C)	Emissão calorífica ⁽²⁾ (W)
ADRAPLAN S 400	70	60	22	0,79	sim	43	488
ADRAPLAN S 500	70	60	22	0,79	sim	43	611
ADRAPLAN S 600	70	60	22	0,79	sim	43	733
ADRAPLAN S 700	70	60	22	0,79	sim	43	855
ADRAPLAN S 800	70	60	22	0,79	sim	43	977
ADRAPLAN S 900	70	60	22	0,79	sim	43	1099
ADRAPLAN S 1000	70	60	22	0,79	sim	43	1222
ADRAPLAN S 1100	70	60	22	0,79	sim	43	1344
ADRAPLAN S 1200	70	60	22	0,79	sim	43	1466
ADRAPLAN S 1300	70	60	22	0,79	sim	43	1589
ADRAPLAN S 1500	70	60	22	0,79	sim	43	1833

⁽²⁾ Emissão calorífica em W para $\Delta T = 43$ °C

Assim, apresentam agora as soluções a aplicar para cada divisão, Tabela 4.79.

Tabela 4.79 - Dimensionamento de radiadores

COMPARTIMENTO	Cargas térmicas (W)		Solução	Emissão calorífica (W)
Sala RCH	2117,06	→	2 x ADRAPLAN S 900	2198,54
Sala openspace	888,85	→	ADRAPLAN S 700	855,44
WC1	349,41	→	ADRAPLAN S 400	488,47
WC2	113,79	→		
Corredor	508,14	→	ADRAPLAN S 400	488,47
Quarto 1	1289,42	→	ADRAPLAN S 1000	1221,59
Quarto 2	1222,52	→	ADRAPLAN S 1000	1221,59
TOTAL	6489,17		TOTAL	6474,12

4.2.2.3 Dimensionamento caldeira elétrica

Para o cálculo da potência necessária da caldeira é necessário ter em atenção a eficiência da mesma, pois se for necessário 10 kW e a caldeira tiver uma eficiência de 90%, então só iria emitir 9 kW.

No caso de caldeira elétrica, a eficiência é igual a 100%, então a potência necessária é obtida somando a potência dos radiadores.

A caldeira utiliza um sistema elétrico, e portanto, a sua eficiência é igual a 1. O que significa que a potência que ela necessita para aquecer a habitação é igual à soma das potências dos radiadores – aproximadamente 6,5 kW – conforme indica a Tabela 4.80.

Tabela 4.80 - Cálculo da potência necessária da caldeira

Tipo de Caldeira	Eficiência (0 a 1)	Potência (kW)
Elétrica	1,0	6,5

Irá fazer-se o estudo com a caldeira elétrica definida em projeto: BaxiRoca – CML 10, com três resistências elétricas de 3,3 kW cada uma. Assim, a caldeira tem uma potência máxima de 10 kW.

4.2.2.4 Dimensionamento AQS

Para o aquecimento de águas quentes sanitárias escolheu-se um depósito acumulador, de uma serpentina, com 200L.

A temperatura de entrada no depósito corresponde à água da rede pública que, normalmente, está a 10°C. A temperatura de saída considerada é a recomendada pela BaxiRoca – 60°C.

O seu dimensionamento é apresentado na Tabela 4.81.

Tabela 4.81 - Dimensionamento do depósito acumulador

Depósito (BAXIROCA)	Capacidade (L)	Circuito primário (serpentina)			Potência permutada (kW)	Circuito secundário (depósito)			
		te (°C)	ts (°C)	Caudal (m ³ /h)		te (°C)	ts (°C)	Caudal (L/h)	t (min)
200E	200	70	60	2,5	29,07	10	60	500	24

4.2.2.5 Dimensionamento Tubagens

Para o dimensionamento da rede em tubos de cobre, é necessário desenhar a rede e definir os troços em que a potência altera, ver Fig. 4.23 e Fig. 4.24. A numeração de 0 a 15 corresponde à rede de ida, a numeração de A a P corresponde à rede de retorno e as letras α e β correspondem aos pontos de ligação para AQS.

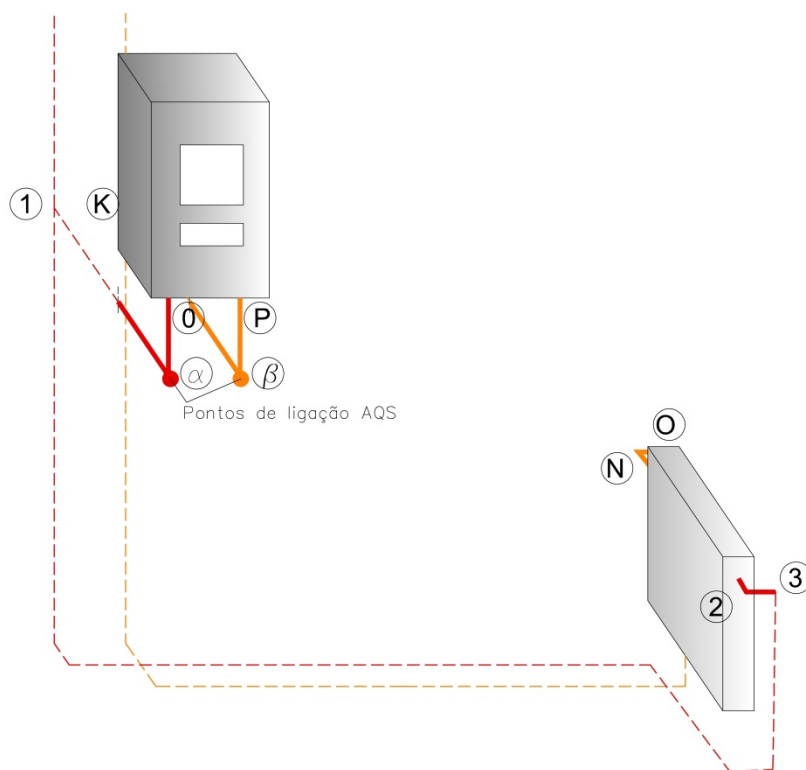


Fig. 4.23 - Rede 3D - ligações à caldeira

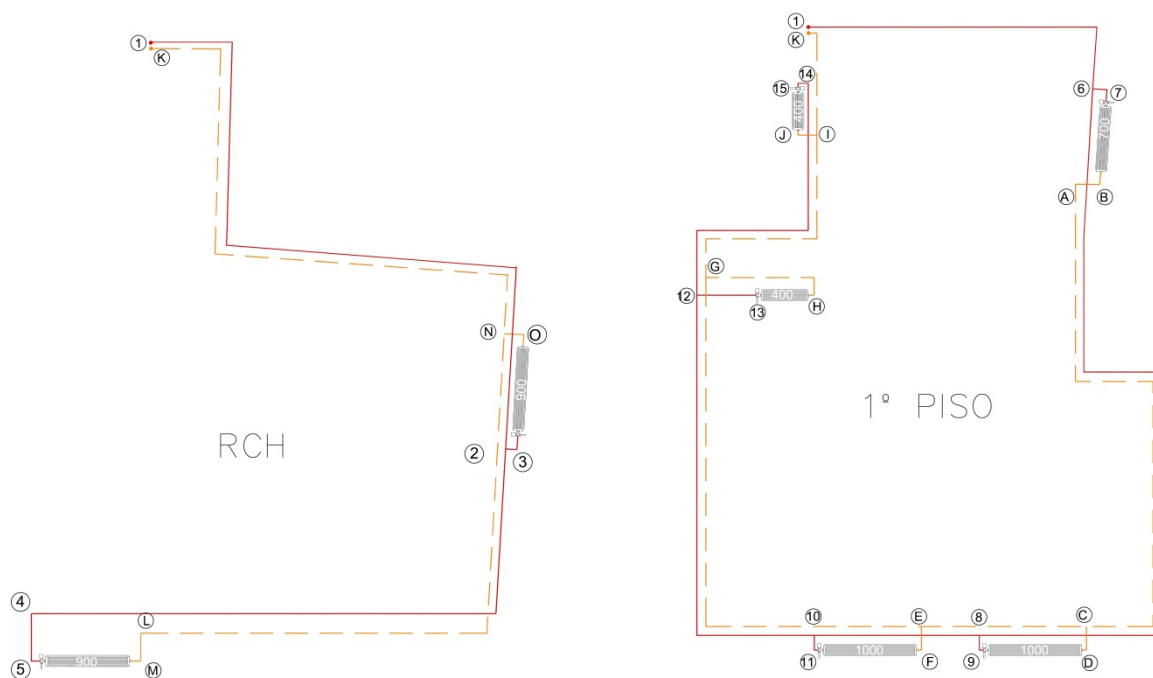


Fig. 4.24 - Rede de aquecimento – solução projetada

Apresenta-se de seguida, Tabela 4.82 e Tabela 4.83, o dimensionamento da tubagem por troços, que está relacionado com a potência necessária para cada troço.

Tabela 4.82 - Dimensionamento tubagens cobre - ida

TUBAGEM IDA			
TROÇO	Potência (kW)	Observações	ϕ (diâmetro) tubagens (mm)
0 - α	10,00	Diametros de entrada e saída da caldeira na respetiva ficha técnica	25
α - 1	6,47	Potência necessária para o aquec.da habitação (soma dos paineis)	22
1 - 2	2,20	Potência necessária para a rede do RCH	14
2 - 3	1,10	Potência necessária para o painel adraplan 900	12
2 - 4	1,10	Potência necessária para a restante rede	12
4 - 5	1,10	Potência necessária para o painel adraplan 900	12
1 - 6	4,28	Potência necessária para a rede do 1º piso	16
6 - 7	0,86	Potência necessária para o painel adraplan 700	12
6 - 8	3,42	Potência necessária para a restante rede	15
8 - 9	1,22	Potência necessária para o painel adraplan 1000	12
8 - 10	2,20	Potência necessária para a restante rede	14
10 - 11	1,22	Potência necessária para o painel adraplan 1000	12
10 - 12	0,98	Potência necessária para a restante rede	12
12 - 13	0,49	Potência necessária para o painel adraplan 400	12
12 - 14	0,49	Potência necessária para a restante rede	12
14 - 15	0,49	Potência necessária para o painel adraplan 400	12

Tabela 4.83 - Dimensionamento tubagens cobre - retorno

TUBAGEM RETORNO		
TROÇO	Potência (kW)	ϕ (diâmetro) tubagens (mm)
A - B	0,86	12
A - C	0,86	12
C - D	1,22	12
C - E	2,08	14
E - F	1,22	12
E - G	3,30	15
G - H	0,49	12
G - I	3,79	16
I - J	0,49	12
I - K	4,28	16
L - M	1,10	12
L - N	1,10	12
N - O	1,10	12
N - K	2,20	14
K - β	6,47	22
β - P	10,00	25

4.2.3 Dimensionamento – solução com os U's regulamentares

4.2.3.1 Cargas térmicas de aquecimento ambiente, CT,i

As temperaturas exterior e interior são as mesmas. O que difere são os coeficientes de transmissibilidade térmica, pelo que se apresenta os valores de seguida.

CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO: ENVOLVENTE, QENV

➤ CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE EXTERIOR, QEXT:

O cálculo da carga térmica devida à envolvente exterior é apresentado na Tabela 4.84.

Tabela 4.84 - Cálculo do Qext - solução com U's regulamentares

COMPARTIMENTO	Qzona corrente				QPT lineares				Qext (W)
	A (m ²)	U (W/(m ² .°C))	ΔT (°C)	A.U.ΔT	L (m)	ψ (W/m.°C)	ΔT (°C)	L.ψ.ΔT	
Sala RCH	22,30	0,36	18	145,31	2,23	0,10	18	4,04	341,13
	1,80	2,29	18	74,61	4,80	0,10	18	8,69	
			18	0,00	9,99	0,60	18	108,49	
Sala openspace	5,50	0,36	18	35,84	3,10	0,10	18	5,61	69,69
			18	0,00	2,60	0,60	18	28,24	
			18	0,00			18	0,00	
WC1	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
			18	0,00			18	0,00	
			18	0,00			18	0,00	
WC2	2,93	0,36	18	19,09	1,30	0,60	18	14,12	33,21
			18	0,00			18	0,00	
			18	0,00			18	0,00	
Corredor	3,00	0,36	18	19,55	2,20	0,10	18	3,98	109,40
	1,60	2,29	18	66,32	1,80	0,60	18	19,55	
			18	0,00			18	0,00	
Quarto 1	10,46	0,36	18	68,16	2,20	0,10	18	3,98	155,76
			18	0,00	3,60	0,20	18	13,03	
			18	0,00	6,50	0,60	18	70,59	
Quarto 2	14,60	0,36	18	95,13	2,20	0,10	18	3,98	192,15
			18	0,00	7,10	0,20	18	25,70	
			18	0,00	6,20	0,60	18	67,33	
TOTAL				524,00				377,33	901,33

➤ CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE INTERIOR, QINT:

O cálculo da carga térmica devida à envolvente interior é apresentado na Tabela 4.85.

Tabela 4.85 - Cálculo do Qint - solução com U's regulamentares

COMPARTIMENTO	Qzona corrente					QPT lineares					Qint (W)
	A (m ²)	U (W/(m ² .°C))	ΔT (°C)	btr	A.U.ΔT.btr	L (m)	ψ (W/m.°C)	ΔT (°C)	btr	L.ψ.ΔT.btr	
Sala RCH	30,00	0,32	18	1,00	173,76	9,99	0,10	18	1,00	18,08	191,84
Sala openspace	5,70	0,34	18	1,00	35,08	2,60	0,17	18	1,00	8,00	43,08
WC1	4,10	0,34	18	1,00	25,23	0,00	0,17	18	1,00	0,00	25,23
WC2	0,80	0,34	18	1,00	4,92	1,30	0,17	18	1,00	4,00	8,92
Corredor	5,20	0,34	18	1,00	32,00	1,80	0,17	18	1,00	5,54	37,54
Quarto 1	10,50	0,34	18	1,00	64,62	6,50	0,17	18	1,00	20,00	84,62
Quarto 2	8,70	0,34	18	1,00	53,54	6,20	0,17	18	1,00	19,08	72,62
TOTAL					389,15					74,70	463,85

➤ CARGA TÉRMICA DEVIDA À ENVOLVENTE EM CONTACTO COM O SOLO, Qecs:

O valor de Qecs é o mesmo pelo que se apresenta novamente a tabela do seu cálculo mas sem alterações, Tabela 4.86.

Tabela 4.86 - Cálculo do Qecs - solução com U's regulamentares

COMPARTIMENTO	Qpav contacto solo				Qpar contacto solo				Qecs (W)
	Apav (m ²)	Ubf (W/(m ² .°C))	ΔT (°C)	Apav.Ubf.ΔT	Apar (m ²)	Ubw (W/(m ² .°C))	ΔT (°C)	Apar.Ubw.ΔT	
Sala RCH	0,00		18	0,00	22,23	0,44	18	177,04	177,04
Sala openspace	5,70	0,34	18	35,08	4,98	0,44	18	39,66	74,74
WC1	0,00		18	0,00	6,88	0,44	18	54,79	54,79
WC2	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
Corredor	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
Quarto 1	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
Quarto 2	0,00		18	0,00	0,00		18	0,00	0,00
TOTAL				35,08				271,49	306,57

Conclui-se que os valores das cargas térmicas de aquecimento, devida à envolvente, de cada compartimento são apresentados na Tabela 4.74.

Tabela 4.87 - Cálculo do Qenvolvente - solução com U's regulamentares

COMPARTIMENTO	Qext (W)	Qint (W)	Qecs (W)	Qenvolvente (W)
Sala RCH	341,13	191,84	177,04	710,01
Sala openspace	69,69	43,08	74,74	187,50
WC1	0,00	25,23	54,79	80,02
WC2	33,21	8,92	0,00	42,13
Corredor	109,40	37,54	0,00	146,94
Quarto 1	155,76	84,62	0,00	240,38
Quarto 2	192,15	72,62	0,00	264,77
TOTAL	901,33	463,85	306,57	1671,75

CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO: VENTILAÇÃO

O cálculo do Q_{vent} é efetuado da mesma forma, não havendo alterações em relação à solução projetada, pelo que se apresenta a tabela final com os resultados, Tabela 4.88.

Tabela 4.88 - Cálculo do Q_{vent} - solução com U's regulamentares

COMPARTIMENTO	Caudal vent (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	h interior (kJ/kg)	h exterior (kJ/kg)	Δh (kJ/kg)	$Q_{ventilação}$ (W)
Sala RCH	120	40,00	43,0	13,9	29,100	1164,00
Sala openspace	30	10,00				291,00
WC1	0	0,00				0,00
WC2	0	0,00				0,00
Corredor	0	0,00				0,00
Quarto 1	30	10,00				291,00
Quarto 2	30	10,00				291,00
TOTAL	210	70,00				2037,00

Conclui-se que o valor das cargas térmicas de aquecimento ambiente são os seguintes:

Tabela 4.89 - Cálculo da CT_i - solução com U's regulamentares

COMPARTIMENTO	Q_{env} (W)	Q_{vent} (W)	CT_i (W)
Sala RCH	710,01	1164,00	1874,01
Sala openspace	187,50	291,00	478,50
WC1	80,02	0,00	80,02
WC2	42,13	0,00	42,13
Corredor	146,94	0,00	146,94
Quarto 1	240,38	291,00	531,38
Quarto 2	264,77	291,00	555,77
TOTAL	1671,75	2037,00	3708,75

4.2.3.2 Dimensionamento radiadores

Apresenta-se, na Tabela 4.90, as soluções a aplicar para cada divisão, tendo em avaliação as cargas térmicas calculadas acima e mantendo um $\Delta t = 43^\circ\text{C}$.

Tabela 4.90 - Dimensionamento de radiadores

COMPARTIMENTO	Cargas térmicas (W)		Solução	Emissão calorífica (W)
Sala RCH	1874,01	→	2 x ADRAPLAN S 800	1953,89
Sala openspace	478,50	→	ADRAPLAN S 400	488,47
WC1	80,02	→	ADRAPLAN S 400	488,47
WC2	42,13	→		
Corredor	146,94	→	ADRAPLAN S 400	488,47
Quarto 1	531,38	→	ADRAPLAN S 400	488,47
Quarto 2	555,77	→	ADRAPLAN S 400	488,47
TOTAL	3708,75		TOTAL	4396,26

4.2.3.3 Dimensionamento caldeira elétrica

A caldeira a ser utilizada é a mesma, mas nesta situação só necessita de aquecer uma potência igual a aproximadamente 4,4 kW.

4.2.3.4 Dimensionamento AQS

O dimensionamento para o aquecimento de águas quentes sanitárias também não sofre alterações, pelo que será utilizada a mesma solução de depósito referida no dimensionamento da solução projetada.

4.2.3.5 Dimensionamento Tubagens

O desenho da rede é o mesmo utilizado para a solução projetada. Uma vez que os radiadores foram alterados, será necessário dimensionar as tubagens para os novos valores, conforme se apresenta de seguida, Tabela 4.91 e Tabela 4.92.

Tabela 4.91 - Dimensionamento tubagens cobre - ida

TUBAGEM IDA			
TROÇO	Potência (kW)	Observações	ϕ (diâmetro) tubagens (mm)
0 - α	10,00	Diametros de entrada e saída da caldeira na respetiva ficha técnica	25
α - 1	4,40	Potência necessária para o aquec.da habitação (soma dos paineis)	22
1 - 2	1,95	Potência necessária para a rede do RCH	14
2 - 3	0,98	Potência necessária para o painel adraplan 800	12
2 - 4	0,98	Potência necessária para a restante rede	12
4 - 5	0,98	Potência necessária para o painel adraplan 800	12
1 - 6	2,44	Potência necessária para a rede do 1º piso	16
6 - 7	0,49	Potência necessária para o painel adraplan 400	12
6 - 8	1,95	Potência necessária para a restante rede	15
8 - 9	0,49	Potência necessária para o painel adraplan 400	12
8 - 10	1,47	Potência necessária para a restante rede	14
10 - 11	0,49	Potência necessária para o painel adraplan 400	12
10 - 12	0,98	Potência necessária para a restante rede	12
12 - 13	0,49	Potência necessária para o painel adraplan 400	12
12 - 14	0,49	Potência necessária para a restante rede	12
14 - 15	0,49	Potência necessária para o painel adraplan 400	12

Tabela 4.92 - Dimensionamento tubagens cobre - retorno

TUBAGEM RETORNO		
TROÇO	Potência (kW)	ϕ (diâmetro) tubagens (mm)
A - B	0,49	12
A - C	0,49	12
C - D	0,49	12
C - E	0,98	14
E - F	0,49	12
E - G	1,47	15
G - H	0,49	12
G - I	1,95	16
I - J	0,49	12
I - K	2,44	16
L - M	0,98	12
L - N	0,98	12
N - O	0,98	12
N - K	1,95	14
K - β	4,40	22
β - P	10,00	25

4.2.4 Análise dos resultados

Como se pode verificar na Tabela 4.93, os valores da primeira solução são bastante mais altos do que as outras soluções, o que significa que com a casa menos isolada as necessidades de aquecimento são maiores, logo há um gasto maior de energia.

Tabela 4.93 - Comparação dos resultados

COMPARTIMENTO	Cargas térmicas de aquecimento ambiente (W)	
	Solução projetada	Solução com U's regulamentares
Sala RCH	2117,06	1874,01
Sala openspace	888,85	478,50
WC1	349,41	80,02
WC2	113,79	42,13
Corredor	508,14	146,94
Quarto 1	1289,42	531,38
Quarto 2	1222,52	555,77
TOTAL	6489,19	3708,75

4.2.5 Comparação com outras soluções

Neste capítulo apresentam-se outras soluções de equipamentos para aquecimento ambiente e AQS e faz-se uma comparação dos custos iniciais, de exploração e ao fim de 10 anos, ver Tabela 4.94 e Fig. 4.25.

É apresentada, além da caldeira elétrica, a bomba de calor, a caldeira a pellets e a caldeira a gás.

Tabela 4.94 - Comparação de custos iniciais, de exploração e ao fim de 10 anos

SOLUÇÕES AQUECIMENTO	Custos Iniciais	Custos de exploração	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Recuperação do investimento
Bomba de Calor Ar-Água	5.169 €	212 €	5.381 €	5.593 €	5.805 €	6.016 €	6.228 €	6.440 €	6.652 €	6.864 €	7.076 €	7.287 €	6º ano
Caldeira a Pellets	3.970 €	552 €	4.522 €	5.074 €	5.626 €	6.178 €	6.730 €	7.282 €	7.834 €	8.386 €	8.938 €	9.490 €	8º ano
Caldeira a Gás Natural	2.139 €	35 €	2.174 €	2.208 €	2.243 €	2.278 €	2.312 €	2.347 €	2.381 €	2.416 €	2.451 €	2.485 €	1º ano
Caldeira elétrica	1.386 €	905 €	2.291 €	3.195 €	4.100 €	5.004 €	5.909 €	6.813 €	7.718 €	8.622 €	9.527 €	10.431 €	

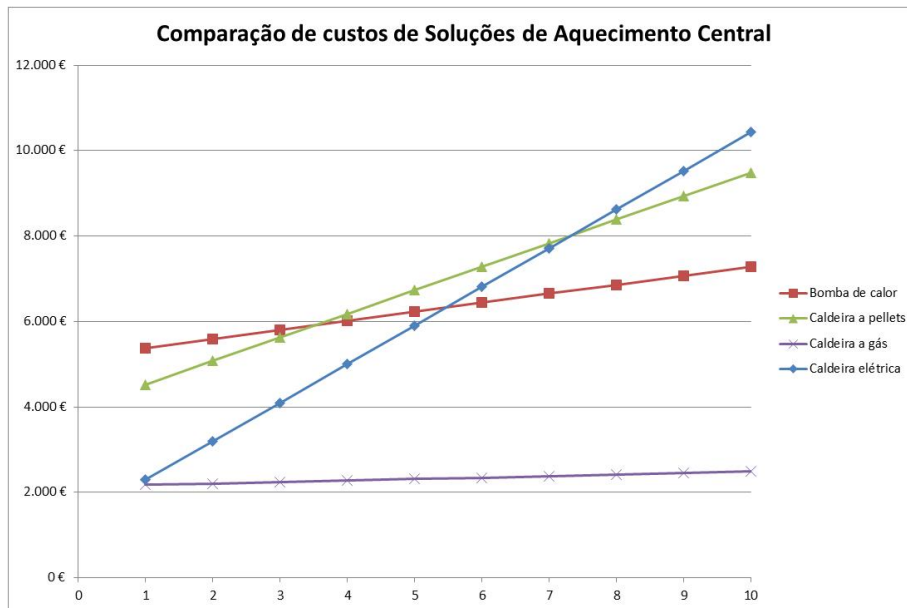
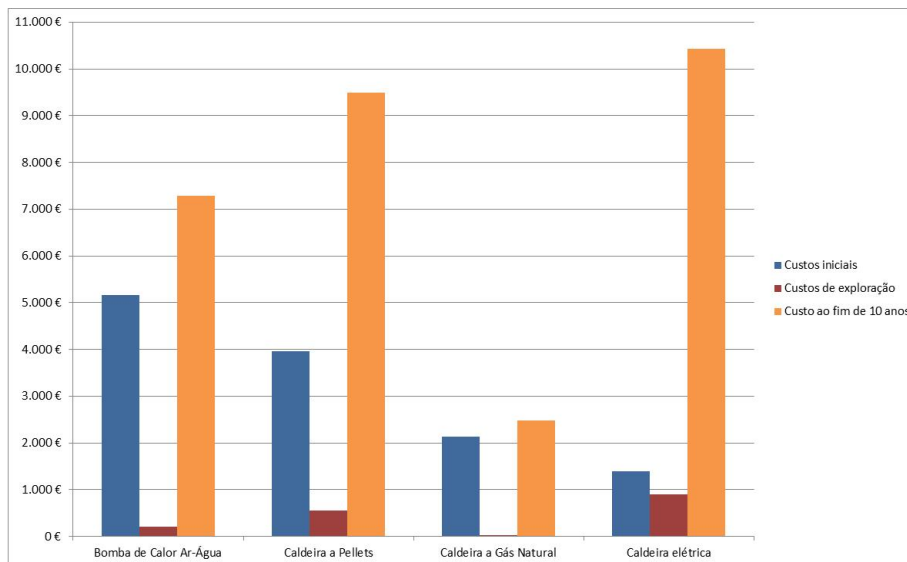


Fig. 4.25- Gráficos comparativos dos custos



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Após a conclusão deste relatório, conclui-se que com os sistemas definidos em projeto as soluções não eram regulamentares. Passando-se para soluções construtivas que obedecessem aos requisitos mínimos regulamentares verificou-se que continuava a não cumprir algumas necessidades, nomeadamente na estação de aquecimento e na energia primária.

Depois de uma análise dos valores finais conclui-se que o erro possa estar na inércia térmica, que continua fraca por conter isolante térmico pelo interior e não existirem alvenarias em paredes divisórias nem lajes nos pavimentos e cobertura; e nos envidraçados, por estarem todos orientados no quadrante norte, não permitindo um valor de ganhos solares na estação de Inverno considerado satisfatório.

Quanto ao capítulo da climatização as conclusões resumem-se na diminuição em cerca de 45% das necessidades de aquecimento, se forem preconizadas soluções que apresentem coeficientes U 's regulamentares, logo, um gasto energético e um custo bastante menores.

A solução de climatização que propõe a utilização de uma caldeira a gás revela-se como a melhor opção considerando um período de recuperação do investimento inicial de 1 ano em comparação com a caldeira elétrica.

5.2 DESENVOLVIMENTO FUTUROS

Como desenvolvimentos futuros sugere-se um estudo mais aprofundado no desempenho térmico da habitação e a aplicação de soluções construtivas que possam satisfazer o conforto térmico da habitação e cumprir a legislação.

Sugere-se também o estudo e dimensionamento climático para a mesma habitação, com um sistema de caldeira a gás, uma vez que o seu custo inicial é recuperado ao fim de 1 ano devido aos custos de exploração serem bastante inferiores ao custo de eletricidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Aguiar, “Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios,” no. versão, p. 55, 2013.
- [2] P. Europeu, “Decreto Lei n.º 194,” *Diário da República*, 1.ª série nº179, no. 14 de setembro de 2015, pp. 7899–7921, 2015.
- [3] P. Europeu, “Portaria n.º 379-A,” *Diário da República*, 1.ª série — N.º 207, no. 2, pp. 1840–1844, 2014.
- [4] P. Europeu, “Portaria 349-B,” *Diário da República*, 1.ª série — N.º 232, no. 18, pp. 18–29, 2013.
- [5] LNEC, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. 2006.
- [6] Ministério da Economia e do Emprego, “Decreto-Lei n.º 118,” *Diário da República*, vol. 159, pp. 4988–5005, 2013.
- [7] E. Luís de Barros and Gomes, “Projeto de Térmica: Aplicação do Novo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação Novos,” 2014.
- [8] N. Portuguesa, “NORMA NP 1037-1,” vol. 7, pp. 1–46, 2002.
- [9] N. Portuguesa, “NORMA NP 10077-1,” vol. 1, 2006.
- [10] D. da República, “Despacho n.º 15793-K,” no. 234, p. 30, 2013.
- [11] D. da República, “Despacho n.º 15793-I,” *Diário da República*, 2.ª série — N.º 234, no. 41, pp. 41–54, 2013.
- [12] I. Sarmiento, “Unidade curricular da Licenciatura em Engenharia Mecânica - PROJETO / ESTÁGIO (PESTM),” 2016.
- [13] Roca, *Manual Prático de Aquecimento Central Doméstico*. 2001.
- [14] Roca, *Cálculo e Desenho de Instalações de Água Quente Sanitária*. .

ANEXO I – FOLHA DE CÁLCULO ELABORADA PARA O DIMENSIONAMENTO CLIMÁTICO